



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DETERMINACIÓN DEL RANGO DE TEMPERATURA ÓPTIMA DE LA LÁMINA
DE ACERO PREPINTADO PREVIO A LA INYECCIÓN DE LA ESPUMA RÍGIDA
DE POLIURETANO, EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERACIÓN**

Elisa María Bonilla Oliva

Asesorado por el Ing. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DEL RANGO DE TEMPERATURA ÓPTIMA DE LA LÁMINA
DE ACERO PREPINTADO PREVIO A LA INYECCIÓN DE LA ESPUMA RÍGIDA
DE POLIURETANO, EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ELISA MARÍA BONILLA OLIVA

ASESORADO POR EL ING. ADRIÁN ANTONIO SOBERANIS IBÁÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Adrián Antonio Soberanis Ibañez
EXAMINADOR	Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
EXAMINADOR	Ing. Mario José Mérida Meré
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DEL RANGO DE TEMPERATURA ÓPTIMA DE LA LÁMINA DE ACERO PREPINTADO PREVIO A LA INYECCIÓN DE LA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO, EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERACIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 7 de junio de 2013.



Elisa María Bonilla Oliva

Guatemala 21 de Octubre del 2014

Ingeniero
V́ctor Manuel Monz3n Valdez
Director de Escuela de Ingenieŕa Qúmica
Escuela de Ingenieŕa Qúmica
Facultad de Ingenieŕa USAC
Presente

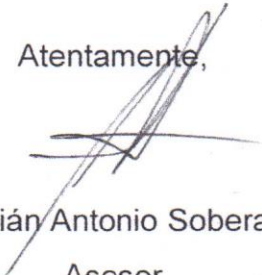
Estimado Ingeniero Monz3n Valdez:

Informo a usted que he revisado el Informe Final del Trabajo de Graduaci3n titulado: "**DETERMINACI3N DEL RANGO DE TEMPERATURA 3PTIMA DE LA LÁMINA DE ACERO PREPINTADO PREVIO A LA INYECCI3N DE LA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO, EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERACI3N**", de la estudiante: Elisa María Bonilla Oliva que se identifica con el carné: 2007-14568.

Despu3s de haber realizado la revisi3n del Informe Final y haber hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobaci3n.

Sin otro particular y agradeciéndole la atenci3n que se sirva dar a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,



Adrian Soberanis
Ingeniero Químico
Colegiado 1515

Ing. Qco. Adrián Antonio Soberanis Ibañez

Asesor

Colegiado No. 1515



Guatemala, 22 de enero de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.008.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **068-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Elisa María Bonilla Oliva**.
Identificada con número de carné: **2007-14568**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DETERMINACIÓN DEL RANGO DE TEMPERATURA ÓPTIMA DE LA LÁMINA DE ACERO PREPINTADO PREVIO A LA INYECCIÓN DE LA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO, EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERACIÓN

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Adrian Antonio Soberanis Ibáñez**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.023.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **ELISA MARÍA BONILLA OLIVA** titulado: **“DETERMINACIÓN DEL RANGO DE TEMPERATURA ÓPTIMA DE LA LÁMINA DE ACERO PREPINTADO PREVIO A LA INYECCIÓN DE LA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO, EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERACIÓN”**.
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 071.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DEL RANGO DE TEMPERATURA ÓPTIMA DE LA LÁMINA DE ACERO PREPINTADO PREVIO A LA INYECCIÓN DE LA ESPUMA DE POLIURETANO, EN LA INDUSTRIA DE REFRIGERACIÓN**, presentado por la estudiante universitaria: **Elisa María Bonilla Oliva**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 23 de febrero de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Al creador de todas las cosas, porque me ha dado la vida, salud, fortaleza y sabiduría para poder culminar con éxito esta etapa de mi vida profesional.
- Virgen** Madre de Dios y madre nuestra, por ser ejemplo de amor y humildad en mi vida.
- Mi madre** Maribel Oliva Vélez, por su inmenso amor, apoyo incondicional. Quien ha creído siempre en mí y ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores.
- Mi padre** Abigaíl Edilberto Bonilla Martínez (q.e.p.d.), por haberme dado la vida, el cual a pesar de haberlo perdido a temprana edad, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo.
- Mi hermano** Francisco José Bonilla Oliva, que siempre ha estado junto a mí brindándome su apoyo, muchas veces poniéndose en el lugar de padre.

**Abuelos paternos
(q.e.p.d.)**

José del Tránsito Bonilla Martínez, a quién llegué amar y admirar sin conocerlo. A Irma Yolanda Martínez Sandoval, por todo el amor que me brindó.

Abuelos maternos

Hugo Oliva Vásquez (q.e.p.d.) por cuidarme y brindarme todo su amor y hacerme reír. A Irma Aída Vélez Meza, por cuidarme siempre con mucho amor y paciencia. Por estar conmigo en todo momento de mi vida.

Mis tíos

Por ser un pilar importante para mi superación personal y sus consejos que me han brindado a lo largo de mi vida.

Mis primos

Con quienes he compartido en el caminar de mi vida los más lindos momentos y por mantener esa unión familiar que nos caracteriza.

Mis amigos

Por tantos momentos y experiencias que hemos convivido juntos. Por motivarme y llenarme de alegrías.

Personas especiales

Natividad y María Alexandra Ortiz Maldonado, por su apoyo, paciencia y cariño que me han brindado. Han sido parte importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el centro que me permitió formarme profesionalmente, poder alcanzar mi sueño y ser el medio para poder conocer a excelentes personas.
Facultad de Ingeniería	Por darme la oportunidad de pertenecer a esta Facultad y obtener enseñanzas de mis catedráticos.
Mis amigos de la Facultad	Por compartir, apoyarnos en cada momento y por luchar por una misma meta.
Fogel de Centroamérica, S. A.	Por abrirme las puertas de su empresa y brindarme los recursos para poder realizar el trabajo de graduación.
Mi asesor	Por ser un gran compañero Ing. Adrián Soberanis; por brindarme su tiempo, apoyo, dedicación, esfuerzo y aporte de sus conocimientos para poder realizar mi trabajo de graduación.

Mis compañeros del trabajo

Por brindarme su apoyo, tiempo y motivarme para poder realizar mi trabajo de graduación.

Mi revisor

Ingeniero Renato Ponciano.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis.....	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Refrigeración	3
2.1.1. Refrigerador industrial	3
2.2. Lámina de acero.....	4
2.3. Aislante térmico	4
2.3.1. Historia	4
2.3.2. Razones para aislar.....	6
2.3.3. Propiedades de materiales aislantes	8
2.4. Espuma rígida de poliuretano.....	9
2.4.1. Historia	9
2.4.2. Síntesis de la espuma rígida de poliuretano.....	10
2.4.3. Ventajas.....	11
2.4.4. Proceso de espumado.....	15
2.4.4.1. Tiempo de mezclado o tiempo de agitación	15

	2.4.4.2.	Tiempo de crema o tiempo de arranque.....	15
	2.4.4.3.	Tiempo de hilo.....	16
2.5.		Normas ASTM.....	17
	2.5.1.	Norma ASTM 90-81	18
	2.5.2.	Norma ASTM 239-89	18
2.6.		Propiedades de los componentes	19
	2.6.1.	Isocianato	19
	2.6.2.	Poliol	20
	2.6.3.	Ciclopentano	20
	2.6.4.	Ácido clorhídrico.....	20
	2.6.5.	Sulfato de cobre	20
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
	3.1.	Variables	21
		3.1.1. Variables dependientes	21
		3.1.2. Variables independientes	21
	3.2.	Delimitación del problema	21
	3.3.	Recursos humanos disponibles	22
	3.4.	Recursos materiales disponibles.....	22
		3.4.1. Equipo y cristalería.....	22
		3.4.2. Reactivos.....	22
	3.5.	Técnica cuantitativa o cualitativa.....	23
		3.5.1. Preparación de la materia prima	23
		3.5.2. Técnica cualitativa.....	24
		3.5.3. Técnica cuantitativa.....	24
	3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	25
	3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	25

3.7.1.	Determinación de la densidad	25
3.7.2.	Determinación de la masa perdida	28
3.7.3.	Determinación de la prueba ASTM 90-81.....	28
3.7.4.	Análisis estadístico	31
4.	RESULTADOS	33
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	41
	CONCLUSIONES	47
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	51
	APÉNDICES	55
	ANEXOS	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Refrigerador industrial.....	3
2.	Transferencia de calor.....	6
3.	Síntesis de la espuma rígida de poliuretano	11
4.	Espuma rígida de poliuretano	14
5.	Crecimiento de la espuma rígida de poliuretano	17
6.	Análisis de la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete a 10 °C.....	33
7.	Análisis de la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete a 14 °C.....	34
8.	Análisis de la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete a 17 °C.....	35
9.	Análisis de la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete a 21 °C.....	36
10.	Análisis de la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete a 25 °C.....	37
11.	Comparación de la densidad promedio de la espuma rígida de poliuretano con la densidad de referencia.....	39

TABLAS

I.	Las propiedades los materiales aislantes.....	9
II.	Tres corridas por cada temperatura	23

III.	Recolección de datos para determinar la densidad a cada 0,175 m a distintas temperaturas.....	25
IV.	Obtención de la densidad en cada sección del mullion a distintas temperaturas.....	26
V.	Obtención de la densidad promedio a lo largo del mullion a distintas temperaturas.....	27
VI.	Masa perdida durante el proceso de espumado.....	28
VII.	Recolección de datos para cada temperatura	29
VIII.	Tabulación de los datos de la prueba ASTM 90-81 para cada temperatura	30
IX.	Peso promedio para cada temperatura en cada sector	30
X.	Modelo matemático de la figura 5.....	34
XI.	Modelo matemático de la figura 6.....	35
XII.	Modelo matemático de la figura 7.....	36
XIII.	Modelo matemático de la figura 8.....	37
XIV.	Modelo matemático de la figura 9.....	38
XV.	Comparación de los cambios físicos a distintas temperaturas	38
XVI.	Descripción de los factores que ocasionaron la pérdida de masa de espuma rígida de poliuretano	39
XVII.	Determinación del peso del revestimiento de Zinc recubierto a diferente temperatura. Prueba ASTM 90-81	40
XVIII.	Determinación de la resistencia de la lámina de acero en un recubrimiento de zinc a diferentes temperaturas. Prueba ASTM 239-89	40

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
k	Coficiente de la conductividad térmica ($W/m^2 K^\circ$)
ρ	Densidad del material (Kg/m^3)
Kg	Kilogramo
$^\circ C$	Medición de temperatura, grados Celsius
m	Metro
m ³	Metro cúbico
%	Porcentaje

GLOSARIO

Aislante térmico	Material o combinación de materiales que se usan, principalmente, para suministrar resistencia al flujo de calor. Tienen una baja conductividad térmica.
Conductividad térmica	Medida de la capacidad de un material para conducir calor.
Densidad	Medida de cuanto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen.
Espuma rígida de poliuretano	Material sintético y duroplástico, altamente fusible, que se obtiene mediante la reacción exotérmica entre el isocianato y el polioliol, utilizado como aislante térmico.
Gel	Un gel es un sistema coloidal donde la fase continua es sólida y la dispersa es líquida.
Humedad	Cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera.
Isocianato	Es un grupo químico con fórmula $-N=C=O$. Los compuestos orgánicos que presentan esta funcionalidad son también denominados isocianatos.

Lámina de acero	Lámina que ha sido sometida a un proceso de inmersión en caliente que recubre la lámina al 100 % de zinc, con el objetivo de prevenir la corrosión.
Longitud	Magnitud física que permite marcar la distancia que separa dos puntos en el espacio.
Masa	Identifica aquella magnitud de carácter físico que permite indicar la cantidad de materia contenida en un cuerpo.
Mullion	Gabinete de lámina de acero prepintado rectangular con 0,7 m de largo, 0,12 m de ancho y 0,04 m de altura.
Norma ASTM	Documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de la organización, y que cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones de ASTM; que por sus siglas en inglés significa American Society for Testing and Materials.
Poliol	Alcohol polihídrido con varios grupos hidroxilo. La fórmula química general es $C_nH_{2n+2}O_n$.
Presión	Magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie.
Reacción exotérmica	Reacción química que libera calor.

Refrigeración	Proceso mediante el cual se reduce la temperatura del ambiente, de un objeto o de un espacio cerrado a partir del enfriamiento de las partículas.
Resistencia	Capacidad de los sólidos para soportar tensiones sin alterarse.
Temperatura	Medida de la energía térmica de una sustancia.
Volumen	Identifica aquella magnitud del espacio que ocupa un cuerpo.

RESUMEN

Se determinó el rango de temperatura óptima de la lámina de acero prepintada de los gabinetes previo a la inyección la espuma rígida de poliuretano, utilizada como aislamiento térmico en la industria de refrigeración. La principal razón por la que se determinó el rango de temperatura óptima fue para reducir los costos, ya que a temperaturas bajas la inyección de masa de espuma de poliuretano es mayor a la establecida. Asimismo, a qué temperatura de la lámina de acero prepintado la espuma rígida de poliuretano mantenía una distribución uniforme de la densidad y acercándose a la densidad de referencia (44 Kg/m^3). Tomando en cuenta los puntos en dónde hay pérdida de espuma rígida de poliuretano y si la lámina sufrió cambios al ser sometida a distintas temperaturas.

Se inició haciendo los mullion en donde se inyectó la espuma rígida de poliuretano y sus respectivos moldes para ejercerles presión a partir de unas manivelas. Se operó a distintas temperatura que fueron de 10, 14, 17, 21 y 25 grados centígrados, tres corridas por cada temperatura. El análisis se inició desde que el mullion alcanzó la temperatura requerida y se inició el proceso de espumado.

A una temperatura de 21 grados centígrados se obtuvo que la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano era uniforme, comparado con las demás temperaturas según el análisis estadístico de ANOVA. A esta misma temperatura se obtuvo la densidad promedio más cercana a la densidad de referencia (44 Kg/m^3). Teniendo una diferencia de $0,31 \text{ Kg/m}^3$.

A 10 y 14 grados centígrados, se obtuvo que la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano e, la espuma rígida de poliuretano no logró llenar completamente el mullion presentando un baja adherencia con la lámina de acero prepintado y sin presencia de agujeros; mientras que a 25 grados centígrados se obtuvo que la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano e se determinó presencia de agujeros y una alta adherencia con la lámina de acero prepintado, logró llenar el mullion, pero la espuma rígida de poliuretano se salió por la uniones causando daño al equipo.

Los puntos en donde se determinó la pérdida de espuma rígida de poliuretano fueron por el tubo en donde se conecta la pistola de inyección con el mullion, debido a las uniones que tiene este y por la pistola de inyección dependiendo la persona que lo opere.

La lámina de acero prepintado no sufrió ningún cambio significativo durante el proceso de espumado según la pruebas ASTM 90-81 y ASTM 239-89 que se le realizaron.

Todas las corridas se realizaron a una humedad relativa del 56 por ciento.

OBJETIVOS

General

Determinar el rango de temperatura óptima de la lámina de acero prepintado de los gabinetes previamente a la inyección de la espuma rígida de poliuretano, para que la densidad empacada responda a la referencia técnica.

Específicos

1. Analizar la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete en distintos sectores para cada temperatura, determinando así la densidad promedio.
2. Comparar los cambios físicos que sufre la espuma de poliuretano a diferentes temperaturas de la lámina del gabinete.
3. Determinar el intervalo de temperatura óptima de la lámina en donde la distribución de la densidad promedio de la espuma rígida de poliuretano responda a la referencia técnica.
4. Identificar los factores que determina la pérdida de masa de espuma rígida de poliuretano durante todo el proceso de espumado en los gabinetes.
5. Determinar si la lámina mantiene sus propiedades al variar la temperatura, a partir de las pruebas ASTM 239-89 y ASTM 90-81.

Hipótesis

Existe un rango de temperatura óptima en la aplicación de la masa de espuma rígida de poliuretano sobre la lámina de acero prepintado de los gabinetes de refrigeración en la que la pérdida de masa es mínima manteniendo la densidad empacada conforme a la referencia técnica.

Hipótesis nula:

La cantidad de masa de la espuma rígida de poliuretano no varía significativamente en función a los cambios de temperatura.

Hipótesis alternativa:

La cantidad de masa de la espuma rígida de poliuretano varía significativamente en función a los cambios de temperatura.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el aislamiento térmico utilizado en la industria de refrigeración es la espuma rígida de poliuretano, debido a que contiene solamente una pequeña parte del volumen de materia sólida con una densidad de 33 kg/m^3 , solo el 3 por ciento (aproximado) del volumen es materia sólida. Es resistente al envejecimiento, contra la acción de las raíces e inerte bioquímicamente, la facilidad de uso y es un material eficiente, ya que se requiere de un mínimo espesor para aislar.

La espuma de poliuretano, que en el sistema de refrigeración se utiliza como aislante térmico para el control de las temperaturas, resulta de la reacción entre el isocianato y el polioliol a altas presiones. Para que la espuma sea favorable en su uso industrial cuenta con un agente expansivo que por la alta temperatura que alcanza la reacción, se evapora llenando por completo las celdas, proporcionando una espuma rígida y con un volumen de casi 35 veces el de los componentes iniciales, así como un medio de aislamiento efectivo en la industria de refrigeración.

Al operar en el rango de temperatura, que se establecerá en la lámina de acero prepintado en los gabinetes, disminuye el impacto ambiental, ya que la producción de desechos sería en menor cantidad, al igual que los costos de operación en el área de espumado.

1. ANTECEDENTES

Para determinar el rango de temperatura óptimo de la lámina antes de añadirle el aislamiento térmico (espuma rígida de poliuretano), para que la reacción mejore físicamente, se buscaron estudios previos en la Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En noviembre de 1995, el estudio realizado por José Enrique Estrada Martínez de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, fue enfocado sobre los sistemas de aislamiento térmico aplicados a la industria petrolera.

En el 2006, el estudio realizado por el Ing. Osman Danilo Vargas Pérez de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se enfocó sobre el análisis para el uso del ciclopentano como agente expansivo de la espuma de poliuretano, sustituyendo al refrigerante HCFC 141-B en la industria de refrigeración para la protección del medio ambiente.

En julio del 2010, Cynthia Lisbeth Alonzo García de la Universidad de San Carlos de Guatemala de la Facultad de Ingeniería, realizó el estudio sobre la implementación del sistema de controles de producción para la elaboración de la espuma de poliuretano, para la industria manufactura.

Internacionalmente, Muhammad Ridha de la Universidad de National University of Singapore, elaboró el trabajo de graduación sobre las propiedades mecánicas y de fallo de la espuma rígida de poliuretano bajo tensión.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Refrigeración

Es un proceso en el que se realiza un trabajo con el objetivo de bajar o mantener el nivel de calor de un cuerpo, para mover el calor de un lugar y transferirlo a otro. La refrigeración tiene varias aplicaciones como en neveras para hogares, refrigeradores industriales, soluciones de criogenia, sistemas de aire acondicionado, entre otros. De hecho, no existen límites para la aplicación de sistemas.

2.1.1. Refrigerador industrial

Es una máquina térmica que se ha utilizado, principalmente en cocina y en laboratorio. Consiste en un gabinete aislado térmicamente en sus paredes. Extrae el calor de un cuerpo a cierta temperatura y lo cede a la temperatura superior. El frío se produce a partir de un compresor, condensador, sistema de expansión y evaporador. Para que pueda funcionar (producir frío) se requiere de energía eléctrica y un gas refrigerante que circula en el sistema.

Figura 1. **Refrigerador industrial**



Fuente: www.fogel-group.com/es/. Consulta: octubre de 2012.

2.2. Lámina de acero

Es el nombre que se da a un gran número de aleaciones a base de hierro, resistentes a la corrosión y al calor. Es en esencia, un acero de bajo carbono que contiene el 10 por ciento o más de cromo por peso. Es esta adición de cromo la que da al acero sus propiedades únicas, haciéndolo inoxidable y resistente a la corrosión.

El contenido de cromo del acero inoxidable permite que se forme sobre la superficie del acero una película de óxido de cromo dura, adherente, invisible y resistente a la corrosión.

2.3. Aislante térmico

Es un reductor de la transferencia de calor a través de las superficies. Es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción, y se evalúa por la resistencia térmica que tienen. La medida de la resistencia térmica o, lo que es lo mismo, de la capacidad de aislar térmicamente, se expresa, en el Sistema Internacional de Unidades (SI) en $m^2.K/W$.

2.3.1. Historia

La primera vez que se utilizó el aislante térmico fue en el siglo XVIII en las máquinas de vapor como un sistema de protección para los trabajadores, para impedir que sufrieran quemaduras producidas por las superficies de la misma. El aislante térmico era hecho por lodo, arcilla, paja, trapos y tiras de madera.

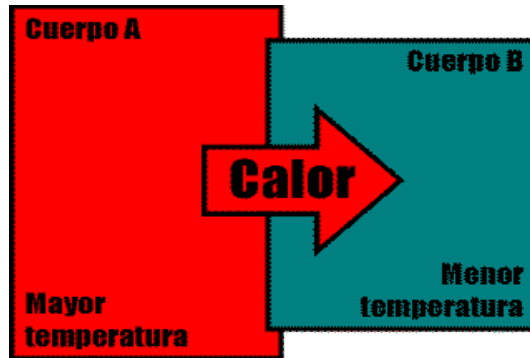
Luego empezaron a notar que al utilizar el aislante térmico las temperaturas bajaron en el cuarto de calderas y hubo un consumo de combustible menor. Como resultado comenzaron a buscar materiales con mayor eficiencia térmica, para la mejora de la máquina térmica y el ahorro de energía.

La mayoría de aislantes térmicos son heterogéneos, combinaciones de materiales que suministran resistencia al flujo de calor. Estos tienen una baja conductividad térmica y espacios rellanados con aire, ya que el aire tiene conductividades térmicas más bajas y la disposición es fácil. “La diferencia de temperatura es la fuerza impulsora para el flujo de calor; entre mayor sea esa diferencia, más grande es la razón de la transferencia de calor”. (CENGEL, p. 422)

Existen maneras apropiadas para aislar y estas dependen del sistema que se requiere aislar. Se necesita una alta inversión de capital, de la cual se logra recuperar la mayoría, en menos de un año.

Otros de los beneficios que tiene el aislante térmico es ayudar al medio ambiente y combatir la contaminación del aire y la reducción del efecto invernadero. Debido a que se disminuye el consumo de combustible que se quema (CO_2 y otros gases).

Figura 2. **Transferencia de calor**



Fuente: [http:// redac5b.blogspot.com](http://redac5b.blogspot.com). Consulta: abril de 2013.

“También se puede ahorrar energía y dinero al aislar las superficies frías (superficies cuya temperatura está por debajo de la ambiental), como las líneas de agua helada, los tanques criogénicos de almacenamiento, los camiones refrigerados y los ductos de aire acondicionado”. (CENGEL, p. 424)

En estos casos, el calor se transfiere desde los alrededores hacia las superficies frías y la unidad de refrigeración debe compensar la ganancia de calor consumiendo energía eléctrica. Un refrigerador con paredes aislada de manera óptima consumirá mucho menos electricidad que otro semejante con poco aislamiento o sin él.

2.3.2. Razones para aislar

- Conservación de la energía

“Conservar la energía mediante la reducción de la velocidad del flujo de calor es la razón principal de las superficies aisladoras. Se dispone con amplitud de materiales para aislamiento que se comportan de manera

satisfactoria en el rango de temperaturas de -268 °C hasta 1000 °C.” (CENGEL, p. 425)

- Protección y comodidad personales

“Una superficie que está demasiado caliente representa un peligro para las personas que trabajan en esa zona, ya que pueden tocarla accidentalmente y sufrir quemaduras. Para prevenir este peligro y cumplir con las normas de seguridad, las temperaturas de las superficies calientes deben reducirse por debajo de 60 °C mediante el aislamiento. Asimismo, el calor excesivo que emana de las superficies calientes crea un medio desagradable para trabajar, lo cual afecta de manera adversa el rendimiento o la productividad de los trabajadores, en especial en los meses de verano.” (CENGEL, p. 425)

- Mantenimiento de la temperatura del proceso

“En la industria química algunos procesos son sensibles a la temperatura y es necesario aislar los tanques en los que se llevan a cabo, así como las tuberías de flujo, con el fin de mantener la misma temperatura en toda su extensión.” (CENGEL, p. 426)

- Prevención de la corrosión y la condensación

“El vapor de agua que existe en el aire se condensa sobre las superficies exteriores de los tanques o tubos cuando su temperatura cae por debajo del punto de rocío, a menos de que cuenten con un aislamiento adecuado. El agua líquida sobre las superficies expuestas de los tanques o tubos metálicos fomentará la corrosión, así como el desarrollo de algas.” (CENGEL, p. 426)

- Protección contra la congelación

“La exposición prolongada a temperaturas inferiores a la de congelación puede causar que el agua que se encuentra en la tubería o recipientes de almacenamiento se congele, como resultado de la transferencia de calor del agua hacia el ambiente frío, causando que estos se revienten. El aislamiento adecuado reducirá la pérdida de calor del agua e impedirá la congelación.” (CENGEL, p. 426)

- Reducción del ruido y la vibración

“Un beneficio adicional del aislamiento térmico es su capacidad para amortiguar el ruido y las vibraciones. Con una selección apropiada del material aislante se pueden lograr, además, reducciones considerables de nivel de ruido”. (CENGEL, p. 426)

2.3.3. Propiedades de materiales aislantes

A continuación se muestran los valores propiedades de materiales aislantes, tales como densidad, conductividad térmica y el calor específico.

Tabla I. **Las propiedades los materiales aislantes**

Material	Densidad (Kg/m³)	Conductividad térmica (W/m²*K)	Calor específico (kJ/Kg*K)
Colcha y lámina			
Fibra mineral (forma fibrosa procesada a partir de roca escoria o vidrio)	4.8-32		0.71-0.96
Tablero y losa			
Vidrio celular	136	0.055	1
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)	64-144	0.036	0.96
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)	16	0.04	1.2
Poliuretano expandido (R-11 expandido)	24	0.023	1.6
Perlita expandida (ligamento orgánico)	16	0.052	1.26
Caucho expandido (rígido)	72	0.032	1.68
Fibra mineral con aglomerante de resina	240	0.042	0.71
Corcho	120	0.039	1.8
Rociado o formado en el sitio			
Espuma de poliuretano	24-40	0.023-0.026	
Fibra de vidrio	56-72	0.038-0.039	
Uretano ; mezcla de dos partes (espuma rígida)	70	0.026	
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)	190	0.046	1.045

Fuente: CENGEL, Yunus. *Transferencia de calor y masa*. p. 850.

2.4. Espuma rígida de poliuretano

A continuación se presentan antecedentes sobre la espuma rígida de poliuretano.

2.4.1. Historia

En 1937, Otto Bayer realizó varias investigaciones y gracias a estas descubrió el poliuretano, el cual se empezó a utilizar la década de los 50 se empezó a utilizar. Ahora los sistemas de poliuretano son muy versátiles y tienen

una amplia gama de aplicaciones que forman parte de la vida cotidiana. Su uso se extiende, por ejemplo a:

- Colchones y sofás: en forma de relleno.
- Automóviles: volantes, *spoilers*, alerones, asientos, salpicaderos, como amortiguación de vibraciones y ruidos, entre otros.
- Suelas del calzado (sobretudo deportivo).
- Fabricación de muebles.
- Pinturas y barnices.
- Ventanas.
- Ingeniería médica.
- Ingeniería aeroespacial.
- Industria del frío (tuberías, cámaras frigoríficas, neveras, criogenia, entre otros.)
- Edificación, como aislamiento térmico, acústico e impermeabilizante.

Las materias primas proceden de dos productos: el petróleo y el azúcar, para obtener, después de un proceso químico de transformación, dos componentes básicos llamados genéricamente Isocianato y polioliol. La mezcla en las condiciones adecuadas de estos dos componentes proporcionará, según el tipo de cada uno de ellos y los aditivos que se incorporen, un material macizo o poroso, rígido o flexible, de celdas abiertas o cerradas.

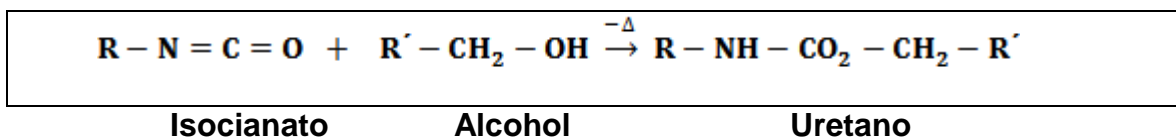
2.4.2. Síntesis de la espuma rígida de poliuretano

“La mezcla de los dos componentes, polioliol e isocianato, que son líquidos a temperatura ambiente, produce una reacción química exotérmica. Esta reacción química se caracteriza por la formación de enlaces entre el polioliol y el isocianato, consiguiendo una estructura sólida, uniforme y muy resistente. Si el

calor que desprende la reacción se utiliza para evaporar un agente hinchante, se obtiene un producto rígido que posee una estructura celular, con un volumen muy superior al que ocupaban los productos líquidos. Es lo que denominamos espuma rígida de poliuretano, o PUR.” (<http://www.atepa.org/PUR.pdf>)

“La espuma rígida de poliuretano es un material sintético duroplástico, altamente reticulado espacialmente y no fusible. En las densidades habituales, para aislamiento térmico, la espuma contiene solamente una pequeña parte del volumen de materia sólida (con una densidad de 35 kg/m³, solo el 3 % del volumen es materia sólida).” (<http://www.atepa.org/PUR.pdf>)

Figura 3. **Síntesis de la espuma rígida de poliuretano**



Fuente: elaboración propia.

2.4.3. **Ventajas**

- Aislación térmica

La elevada capacidad aislante de este material se debe a la muy baja conductividad térmica que posee el gas espumante ocluido en el interior de sus celdas cerradas. Coeficiente de conductividad térmica: 0,026 W/m² K°.

- Acción anticondensante

El tratamiento con spray de poliuretano forma un manto aislante monolítico, totalmente adherido a la superficie, sin juntas ni puentes térmicos, que resuelve eficazmente el problema de condensación.

- Rigidez estructural

La espuma rígida de poliuretano en spray o inyección se adapta perfectamente a las estructuras donde se aplica, brindando además de aislación térmica, rigidez estructural. Esto permite disminuir espesores de substrato, pues la pared pasa a comportarse como un elemento único, aumentando la resistencia a la flexión, compresión e impacto. El menor espesor de poliuretano que se debe aplicar para obtener el mismo efecto aislante que con otros productos, redunda en un mejor aprovechamiento del espacio interior, para las mismas dimensiones exteriores.

Es el producto de mayor poder aislante que se conoce:

- De máxima adherencia a la superficie tratada, cualquiera sea su forma o posición.
- Confiere rigidez estructural.
- Prolonga la vida útil de las cubiertas tratadas.
- Controla las dilataciones en estructuras de hormigón.
- Actúa como amortiguador de vibraciones.
- Ahorro de energía empleada en refrigeración o calefacción.

- Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas dependen de la medida de su peso volumétrico; a medida que este aumenta, también su propiedad de resistencia. Los pesos volumétricos más usuales se hallan comprendidos entre 30 y 100 kg/m³, dentro de estos límites se obtienen los siguientes valores:

- Resistencia a la tracción entre 3 y 10 (Kpa/cm²)
- Resistencia a la compresión entre 1,5 y 9 (Kpa/cm²)
- Resistencia al cizallamiento entre 1 y 5 (Kpa/cm²)
- Módulo de elasticidad entre 40 y 200 (Kpa/cm²)

- Resistencia a los productos químicos

La EDP es resistente al agua potable, al agua de lluvia y al agua de mar, las soluciones alcalinas diluidas, los ácidos diluidos, los hidrocarburos alifáticos, por ejemplo: la gasolina normal, el carburante diésel, el propano, el aceite mineral, así como los gases de escape y el aire industrial (SO₂). Es condicionalmente resistente (hinchamiento o encogimiento) a los siguientes productos: los hidrocarburos clorados, las acetonas y los éteres, no es resistente a los ácidos concentrados.

- Otras ventajas

- Es el producto de mayor poder aislante que se conoce.
- De máxima adherencia a la superficie tratada, cualquiera sea su forma o posición.
- Confiere rigidez estructural.

- Prolonga la vida útil de las cubiertas tratadas
 - Controla las dilataciones en estructuras de hormigón
 - Actúa como amortiguador de vibraciones
 - Ahorro de energía empleada en refrigeración o calefacción
- Poder de adherencia

Una propiedad, particularmente interesante de la EDP, aplicado *in situ* para el empleo como material de construcción es su adhesión a diferentes materiales. Durante la fabricación, la mezcla de la EDP experimenta su estado intermedio pegajoso y en virtud de la fuerza adhesiva propia, automática y excelentemente se adhiere al papel, al cartón y al cartón asfaltado para techos; así como a las maderas, a las planchas de fibras duras y de virutas prensadas, a la piedra, al hormigón, al fibrocemento, a las superficies metálicas y a un gran aumento de materias plásticas.

Figura 4. **Espuma rígida de poliuretano**



Fuente: <http://upload.wikimedia.org/images>. Consulta: mayo de 2013.

2.4.4. Proceso de espumado

En el área de espumado se realizan las mezclas de los componentes para lograr una adecuada espuma de poliuretano.

Los ingredientes se dosifican y se mezclan en cantidades y proporciones adecuadas, estos deben mantenerse a una temperatura constante. La reacción se inicia al cabo de poco tiempo y transcurre con desprendimiento de calor, a eso se le denomina reacción exotérmica.

El proceso de espumado se puede dividir de la siguiente manera:

2.4.4.1. Tiempo de mezclado o tiempo de agitación

Es el tiempo necesario en lograr una mezcla homogénea de los reactivos. Durante el mezclado se generan pequeñas burbujas de aire en la mezcla líquida que actúan como agentes iniciadores del crecimiento de la espuma rígida de poliuretano.

2.4.4.2. Tiempo de crema o tiempo de arranque

Es el tiempo que transcurre desde que se inicia el mezclado de los reactivos hasta cuando es visible el crecimiento de la espuma rígida de poliuretano de la mezcla. En varios casos se aprecia por un evidente cambio del color, pero si las mezclas son de reacción lenta, se requiere una mirada experimentada.

Esta etapa se da después de un corto período de inducción de los gases de expansión en donde empiezan a expandirse dentro de las pequeñas

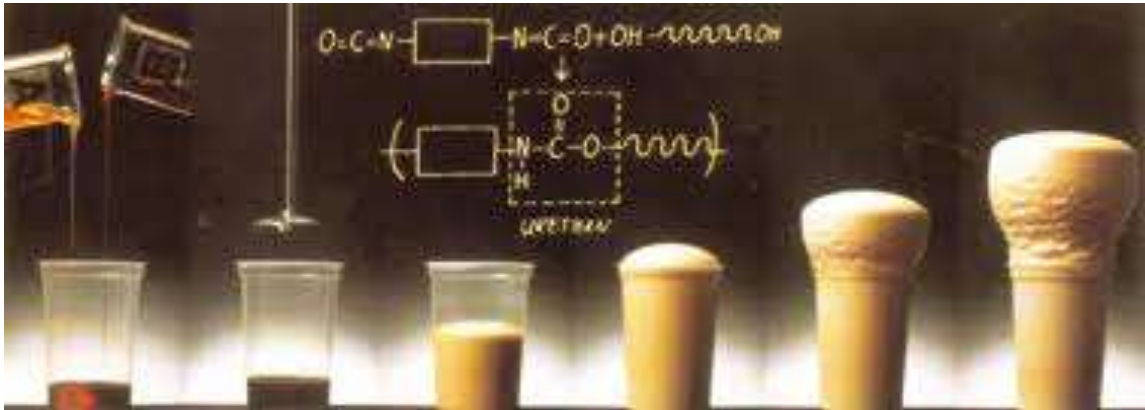
burbujas de aire, tomándolas y dándoles a la mezcla de espuma, estas tienen una apariencia cremosa.

El tiempo que transcurre desde que se empieza la mezcla hasta que aparece la crema y empieza a crecer, se conoce con el nombre de: tiempo de crema.

2.4.4.3. Tiempo de hilo

Conforme pasa el tiempo se van generando más gases de expansión, la espuma sigue creciendo y al mismo tiempo se hace más viscosa con la polimerización en la fase líquida. Las burbujas permanecen razonablemente constantes, mientras la espuma crece, esto indica la transición de la mezcla reaccionante del estado líquido al sólido, lo cual equivale al punto de gel. Cuando se llega a este momento se calcula que la reacción ha alcanzado un grado de conversión del 50 por ciento. El tiempo de hilo se mide clavando repetidamente una varilla de madera en la mezcla reaccionante ya muy expandida y retirándola de nuevo y observando cuándo la varilla sale arrastrando hilos de material. La medición del tiempo se inicia con el mezclado.

Figura 5. **Crecimiento de la espuma rígida de poliuretano**



Fuente: <http://aislacionesplacidosandoval.com/propiedades.htm>. Consulta: abril de 2013.

2.5. Normas ASTM

Organismo de Normalización fundado en mayo de 1898. American Section of the International Association for Testing Material (ASTM, por sus siglas en inglés). En la página electrónica de la Organización ASTM, se describe que es una de las mayores organizaciones en el mundo que desarrollan normas voluntarias por consenso. ASTM es una organización sin ánimo de lucro, que brinda un foro para el desarrollo y publicación de normas voluntarias por consenso, aplicables a los materiales, productos, sistemas y servicios. Los miembros de ASTM, que representan a productores, usuarios, consumidores, el gobierno y el mundo académico de más de 100 países, desarrollan documentos técnicos que son la base para la fabricación, gestión y adquisición, y para la elaboración de códigos y regulaciones.

Como se usa en ASTM, una norma es un documento que ha sido desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de la organización, y que cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones de ASTM. Las normas elaboradas por consenso se elaboran con la participación de todas las partes que tienen intereses en el desarrollo o uso de las normas.

2.5.1. Norma ASTM 90-81

Este método cubre procedimientos para la determinación del peso del recubrimiento de zinc-recubierto (galvanizado) de alambre, y otros artículos (galvanizado) recubiertos de zinc.

- Importancia

Este ensayo proporciona un método estándar para la determinación del peso del recubrimiento de zinc en los artículos de hierro o de acero; proporciona una protección contra la corrosión. Dado que la protección es suministrada por la pérdida de sacrificio del zinc, el grado de protección es proporcional al peso del recubrimiento del zinc. Las especificaciones de los artículos recubiertos de zinc prevén, a menudo diferentes clases (pesos) de la capa, para que el comprador pueda seleccionar el recubrimiento más adecuado a sus necesidades.

2.5.2. Norma ASTM 239-89

Este método de ensayo, conocido como la prueba de Preece, cubre el procedimiento para determinar, mediante el uso de una solución de sulfato de cobre, el lugar más delgado en un recubrimiento de zinc (por inmersión en

caliente, galvanizado, o rociado) para artículos de hierro o acero que están cubiertos después de que se ha formado por fundición.

- **Importancia:** está diseñado como una prueba de inspección o de aceptación en la determinación de las más finas partes del recubrimiento de zinc en los elementos de una cueva cubierta. Asimismo, para comprobar la uniformidad del revestimiento e identificar las zonas de la muestra donde la capa es muy delgada.

2.6. Propiedades de los componentes

A continuación se muestran las propiedades de los componentes.

2.6.1. Isocianato

Los isocianatos son compuestos orgánicos que contienen en su molécula el grupo $-N=C=O$ unido a un radical alifático o aromático.

Entre los aromáticos más utilizados destaca el toluendiisocianato (TDI) y comercializado normalmente como una mezcla de los isómeros 2,4 y 2,6. Destaca también el diisocianato de bisfenil metileno (MDI).

- **Tipos de Isocianatos**
 - **TDI:** esta es la sustancia más utilizada en la industria y la responsable del mayor número de manifestaciones patológicas, porque es extremadamente volátil y a menudo se utiliza en elevadas concentraciones.

- HDI: se utiliza menos y es altamente irritante para la piel y los ojos.

2.6.2. Poliol

Son alcoholes polihídricos con varios grupos hidroxilo. La fórmula química general es $C_nH_{2n+2}O_n$. Un poliol es un carbohidrato que contiene más grupos hidroxilo que el azúcar al cual está asociado.

2.6.3. Ciclopentano

Los polioles son alcoholes polihídricos con varios grupos hidroxilo. La fórmula química general es $C_nH_{2n+2}O_n$.

2.6.4. Ácido clorhídrico

Es una solución acuosa de gas de cloruro de hidrógeno, también conocida como ácido muriático. Su nombre IUPAC es cloruro de hidrógeno y su fórmula molecular es HCl. Se emplea comúnmente como reactivo químico y se trata de un ácido fuerte que se disocia completamente en disolución acuosa.

2.6.5. Sulfato de cobre

Es un compuesto químico derivado del cobre que forma cristales azules, solubles en agua y metanol y ligeramente solubles en alcohol y glicerina. Su fórmula semidesarrollada es $CuSO_4$.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación se describen las variables que influyeron en el procedimiento experimental para poder obtener los resultados de la investigación.

3.1.1. Variables dependientes

- Densidad empacada (Kg/m^3)
 - Masa perdida (Kg/Kg de masa inyectada)

3.1.2. Variables independientes

- Temperatura de la lámina ($^{\circ}\text{C}$)
- Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)
- Humedad relativa (%)

3.2. Delimitación del problema

El aislamiento térmico utilizado fue la espuma rígida de poliuretano, la lámina de los gabinetes fue de acero galvanizado prepintado, el rango de temperatura que se trabajó la lámina es de 10 a 25 grados centígrados, los moldes que se utilizaron son de madera y se ejerció una presión con la ayuda de las manivelas.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Desarrollador del proyecto: bachiller Elisa María Bonilla Oliva
- Asesor: Ing. Qco. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez

3.4. Recursos materiales disponibles

A continuación se muestran los recursos materiales disponibles.

3.4.1. Equipo y cristalería

- Balanza analítica
- Beacker 1L
- Termómetro AB
- Termómetro digital
- Planchas de espuma rígida de poliuretano
- Sistema de enfriamiento por serpentín
- Cuchilla
- Espátula
- Cinta adhesiva
- Vernier digital

3.4.2. Reactivos

- Agua
- Polirol
- Isocianato
- Ciclopentano
- Sulfato de cobre

- Ácido clorhídrico

3.5. Técnica cuantitativa o cualitativa

En el diseño experimental por cada temperatura se hicieron tres corridas, por lo que se necesitaron 15 mullion, ya que se trabajó a 5 temperaturas diferentes.

Tabla II. **Tres corridas por cada temperatura**

Temperatura (°C)	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
10			
14			
17			
21			
25			

Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Preparación de la materia prima

- Se realizaron los 15 mullion de lámina de acero galvanizado prepintado.
- A cada mullion se les abrió el agujero en donde se inyectó la espuma rígida de poliuretano.
- Se abrió el agujero a cada mullion, llamado respiradero, rotulando cada mullion a diferente temperatura y corrida.

3.5.2. Técnica cualitativa

- Observar y anotar todos los cambios físicos que sufre la espuma rígida de poliuretano y la lámina prepintada.
- Tomar la altura del punto más alto que alcanza la espuma rígida de poliuretano en mullion.
- Anotar los factores que afectan la pérdida de espuma rígida de poliuretano inyectada.
- Realizar la prueba ASTM 239-89.

3.5.3. Técnica cuantitativa

- a) Pesar el mullion previo a la inyección de espuma rígida de poliuretano.
- b) Anotar el porcentaje de humedad y temperatura del ambiente.
- c) Colocar los tres mullion en los moldes adecuados ejerciendo presión con las manivelas, teniendo ya los mullion a la temperatura requerida.
- d) Inyectar la espuma rígida a cada mullion y se inicia la corrida 1.
- e) Ya inyectado la espuma rígida de poliuretano, se espera 10 minutos.
- f) Repetir los pasos a, b, c, d y e para distintas temperaturas.
- g) Pesar cada mullion después de ser espumado.
- h) Abrir cada mullion.
- i) Abrir en cuatro sectores el mullion a una longitud de 0,175 m.
- j) Medir la densidad de cada corrida a distintas temperaturas (10 °C, 14 °C, 17 °C, 21 °C y 25 °C).
- k) Sacar la densidad promedio de cada cajón.
- l) Realizar la prueba ASTM 90-81 a la lámina de acero.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para poder alcanzar los objetivos del proyecto se tabularon los resultados obtenidos en cada proceso involucrado. Se realizó un estudio estadístico para obtener las conclusiones de los objetivos planteados.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Las siguientes tablas se utilizaron para poder obtener los datos requeridos para la realización de los objetivos.

3.7.1. Determinación de la densidad

En las tablas III y V se muestra la recolección y ordenamiento de los datos para obtener la densidad a diferentes temperaturas y para cada sección del mullion.

Tabla III. **Recolección de datos para determinar la densidad a cada 0,175 m a distintas temperaturas**

Temperatura (°C)	Secciones(m)							
	0,175		0,35		0,525		0,7	
	m ₁ (Kg)	V ₁ (m3)	m ₂ (Kg)	V ₂ (m3)	m ₃ (Kg)	V ₃ (m3)	m ₄ (Kg)	V ₄ (m3)
10								
14								
17								
21								
25								

Fuente: elaboración propia.

La tabla III fue utilizada para recolecionar los datos requeridos para obtener la densidad a cada 0,175 m a lo largo del mullion para cada temperatura. La misma tabla se utilizó para hacer las tres corridas de cada temperatura.

La ecuación utilizada para determinar la densidad es:

$$\rho = m/V \quad (\text{Ecuación Núm. 1})$$

En donde:

ρ = densidad de la espuma rígida de poliuretano (Kg/m^3)

m = masa de la espuma rígida de poliuretano (Kg)

V = volumen de la espuma rígida de poliuretano (V)

Tabla IV. **Obtención de la densidad en cada sección del mullion a distintas temperaturas**

Temperatura (°C)	Secciones (m)			
	0,175	0,35	0,525	0,7
	$\rho(\text{Kg}/\text{m}^3)$	$\rho(\text{Kg}/\text{m}^3)$	$\rho(\text{Kg}/\text{m}^3)$	$\rho(\text{Kg}/\text{m}^3)$
10				
14				
17				
21				
25				

Fuente: elaboración propia.

La tabla IV fue utilizada para obtener la densidad a cada 0,175 m de distancia a lo largo del mullion. Se utilizó la misma tabla para realizar las 3 corridas para cada temperatura establecida.

Tabla V. **Obtención de la densidad promedio a lo largo del mullion a distintas temperaturas**

Temperatura (°C)				
Corrida	ρ_1 (Kg/m ₃)	ρ_2 (Kg/m ₃)	ρ_3 (Kg/m ₃)	ρ_4 (Kg/m ₃)
1				
2				
3				
ρ_{prom} (Kg/m ₃)				

Fuente: elaboración propia.

Para calcular la densidad promedio se utiliza la siguiente ecuación:

$$Promedio = \frac{D_1 + D_n}{n} \quad (\text{Ecuación Núm. 2})$$

En donde:

Promedio = dato promedio

D_1 = dato número 1

D_n = dato número n

n = cantidad de datos

3.7.2. Determinación de la masa perdida

A continuación se muestra la manera de determinar la masa perdida en el experimento.

Tabla VI. **Masa perdida durante el proceso de espumado**

Temperatura (°C)			
Corrida	$W_{inicial}$	W_{final}	$W_{perdida}$
1			
2			
3			

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó la misma tabla para cada temperatura (10 °C, 14 °C, 17 °C, 21 °C y 25 °C) a la que se le realizó el proceso de espumado.

3.7.3. Determinación de la prueba ASTM 90-81

A continuación se muestra la manera de determinar la prueba ASTM 90-81.

Tabla VII. **Recolección de datos para cada temperatura**

Sector	Temperatura (°C)			
	Corrida			
	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	W _o (g)	W _f (g)
1				
2				
3				

Fuente: elaboración propia.

La tabla VII se utilizó para recolecionar los datos requeridos para poder realizar la prueba ASTM 90-81. También, para las 3 corridas que se hicieron por cada temperatura. (10 °C, 14 °C, 17 °C, 21 °C y 25 °C).

La ecuación que se utilizó para obtener el peso en unidades SI es:

$$C = \left[\frac{(W_o - W_f)}{A} \right] * K \quad (\text{Ecuación Núm. 3})$$

En donde:

C= peso del recubrimiento, g/m² de la hoja

W₀= peso original de la muestra, gramos

W_f= peso de la muestra sin recubrimiento, gramos

A = área de la hoja en mm²

K= 1*10⁶ si A está en mm²

Tabla VIII. **Tabulación de los datos de la prueba ASTM 90-81 para cada temperatura**

Sector	Temperatura (°C)				
	Corrida				
	Área (mm ²)	Wo (g)	Wf (g)	K	C (g/m ²)
1					
2					
3					

Fuente: elaboración propia.

Para poder obtener el peso de recubrimiento de zinc-recubierto (galvanizado) se hizo un promedio de todas las corridas para cada sector. Utilizando la ecuación Núm. 2 para poder obtener el promedio.

Tabla IX. **Peso promedio para cada temperatura en cada sector**

Temperatura (°C)	C _{promedio} (g/m ²)
10	
14	
17	
21	
25	

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó la misma tabla (IX) para los tres sectores analizados a cada temperatura.

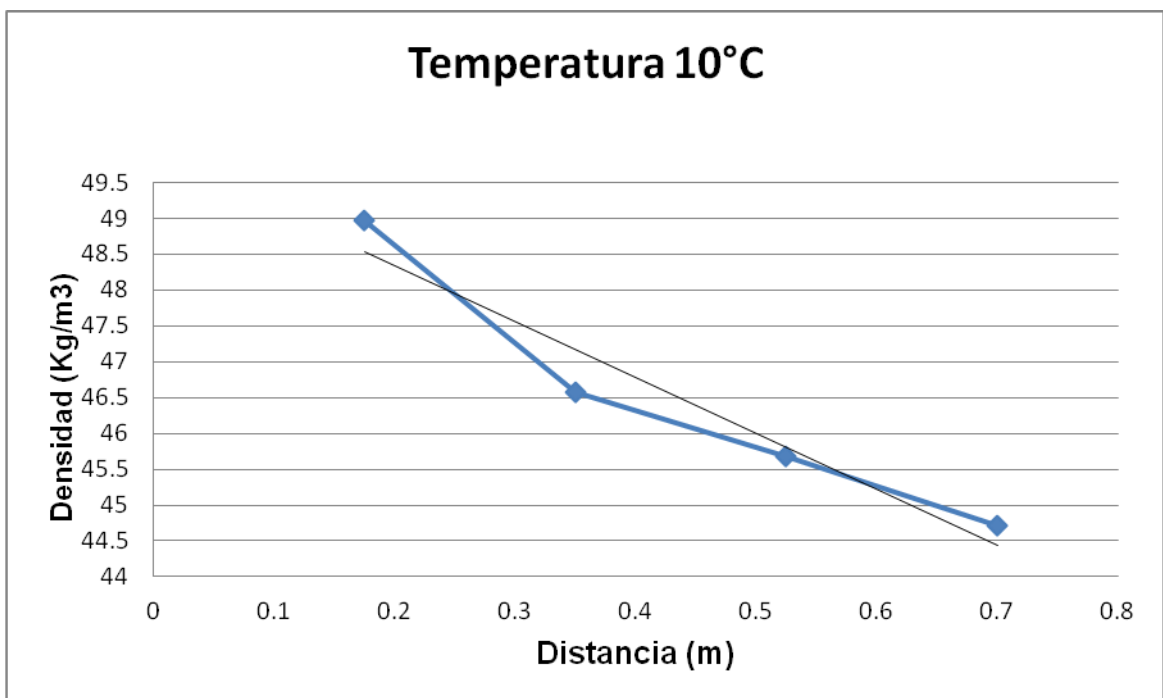
3.7.4. Análisis estadístico

Se utilizó ANOVA como análisis estadístico de los resultados, ya que se emplearon 3 corridas para cada temperatura.

ANOVA (análisis de varianza) es una colección de modelos estadísticos en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes. Se utiliza para comparar varios en una misma variable cuantitativa, se puede utilizar con dos o más muestras. ANOVA utiliza un factor F (distribución F) que es un estadístico que refleja el grado de parecido en las muestras existentes entre las medias que se están comparando.

4. RESULTADOS

Figura 6. Análisis de la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete a 10 °C



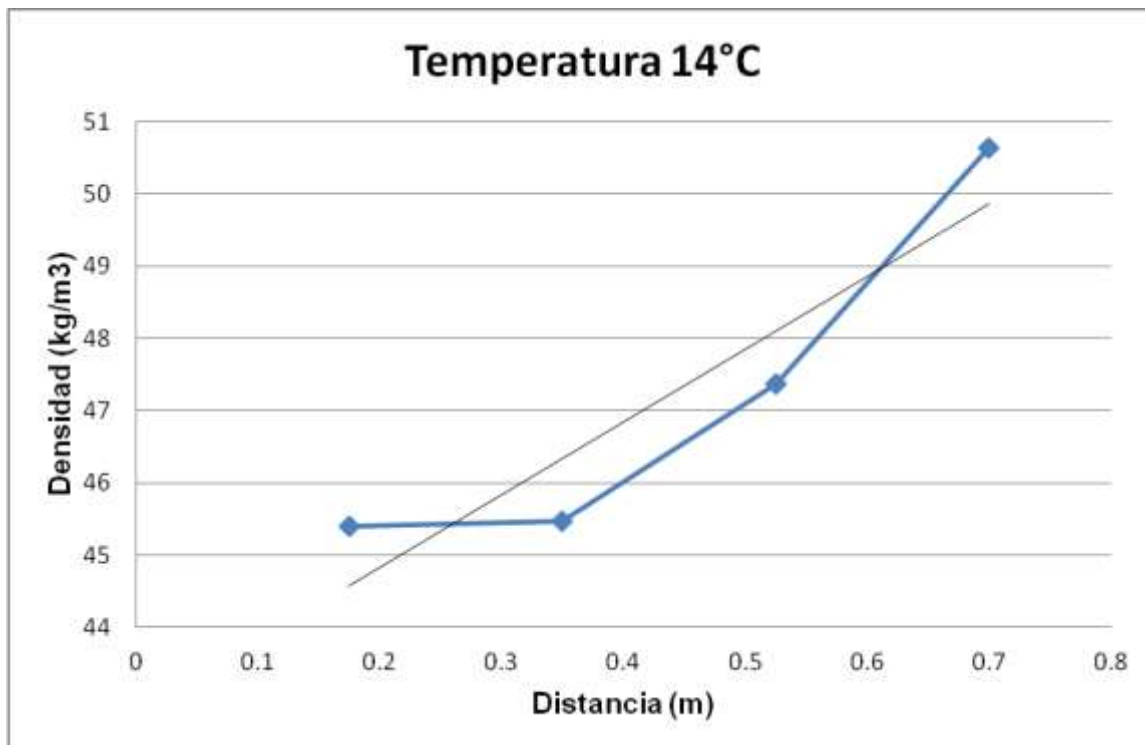
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Modelo matemático de la figura 5**

Curva	Modelo matemático	Coefficiente de correlación	Intervalo de validez (m)
	$\rho = -7,7988d + 49,892$	0,9365	[0,1:0,7]

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Análisis de la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete a 14 °C**



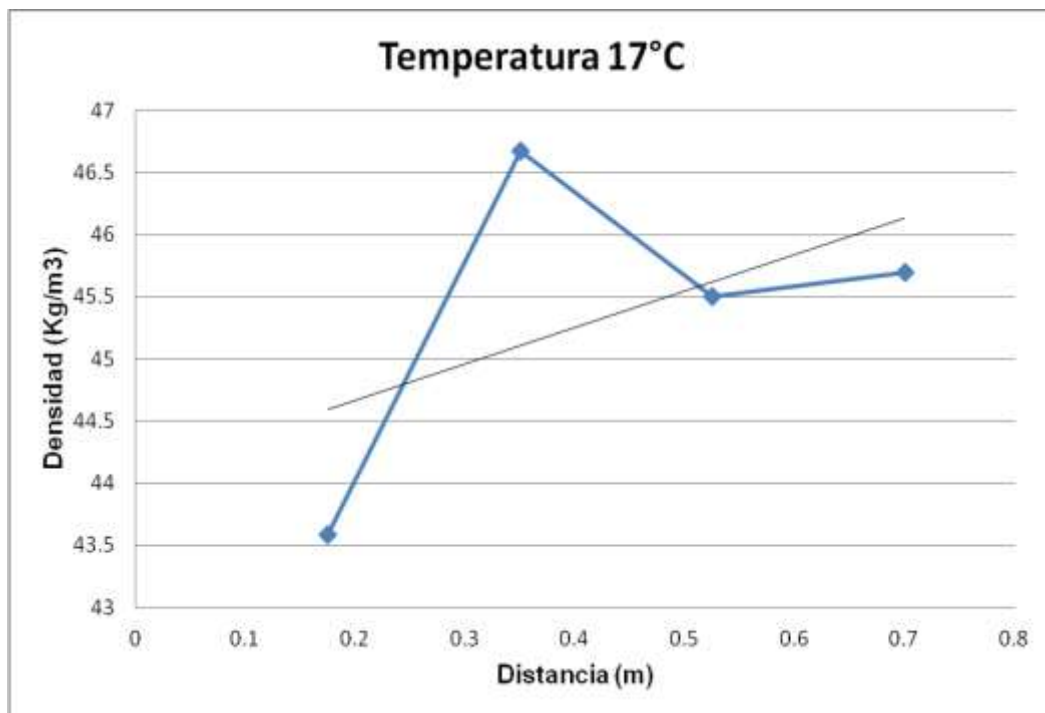
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Modelo matemático de la figura 6**

Curva	Modelo matemático	Coefficiente de correlación	Intervalo de validez (m)
	$\rho = 10,058 d + 42,819$	0.8581	[0,1:0,7]

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Análisis de la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete a 17 °C**



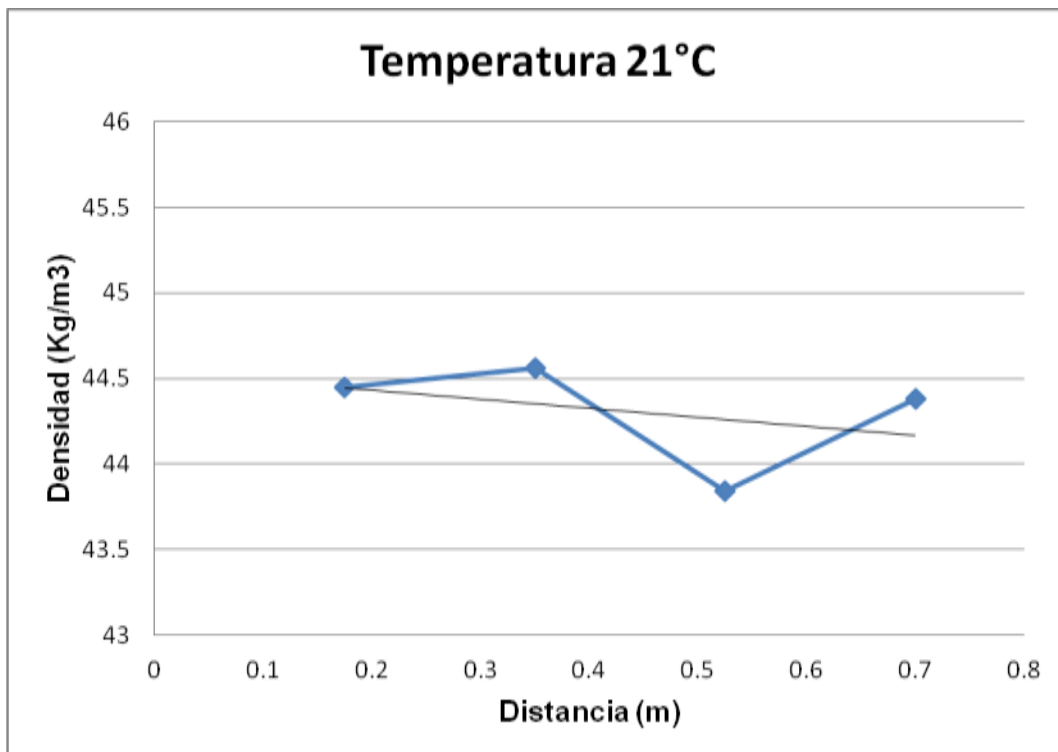
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Modelo matemático de la figura 7**

Curva	Modelo matemático	Coefficiente de correlación	Intervalo de validez (m)
	$\rho = 2,9446 d + 44,076$	0,2652	[0,1;0,7]

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Análisis de la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete a 21 °C**



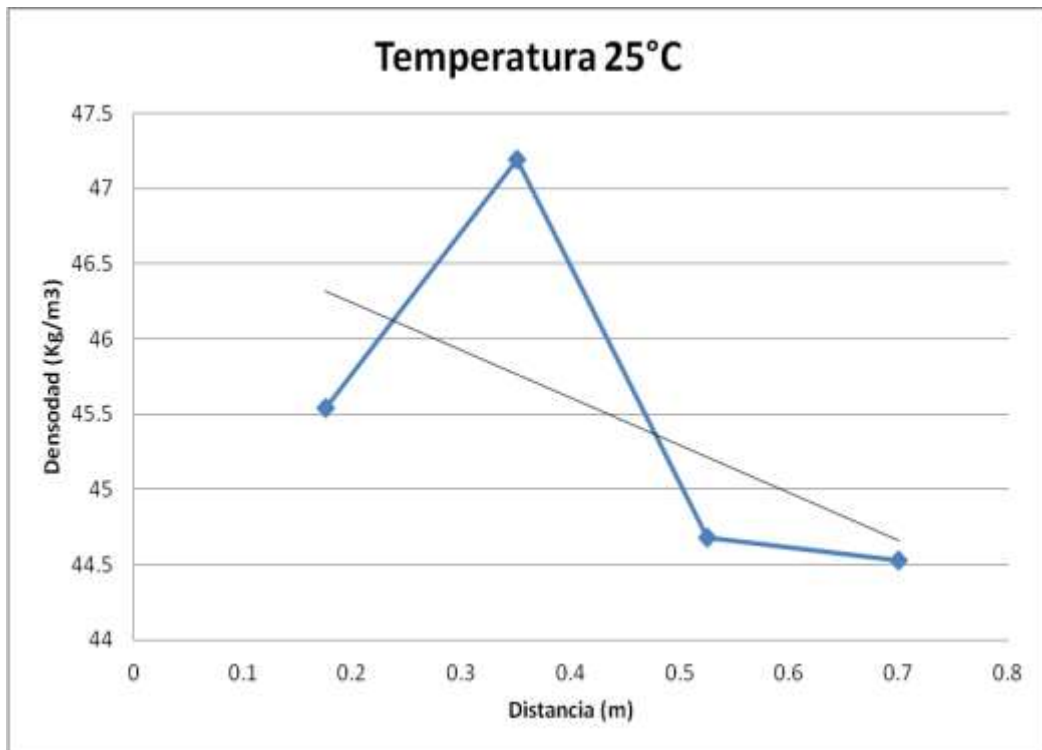
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Modelo matemático de la figura 8**

Curva	Modelo matemático	Coefficiente de correlación	Intervalo de validez (m)
	$\rho = -0,5193 d + 44,535$	0,1347	[0,1;0,7]

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Análisis de la distribución de la densidad de la espuma rígida de poliuretano dentro del gabinete a 25 °C**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Modelo matemático de la figura 9**

Curva	Modelo matemático	Coefficiente de correlación	Intervalo de validez (m)
	$\rho = - 3,1622 d + 46,871$	0,342	[0,1;0,7]

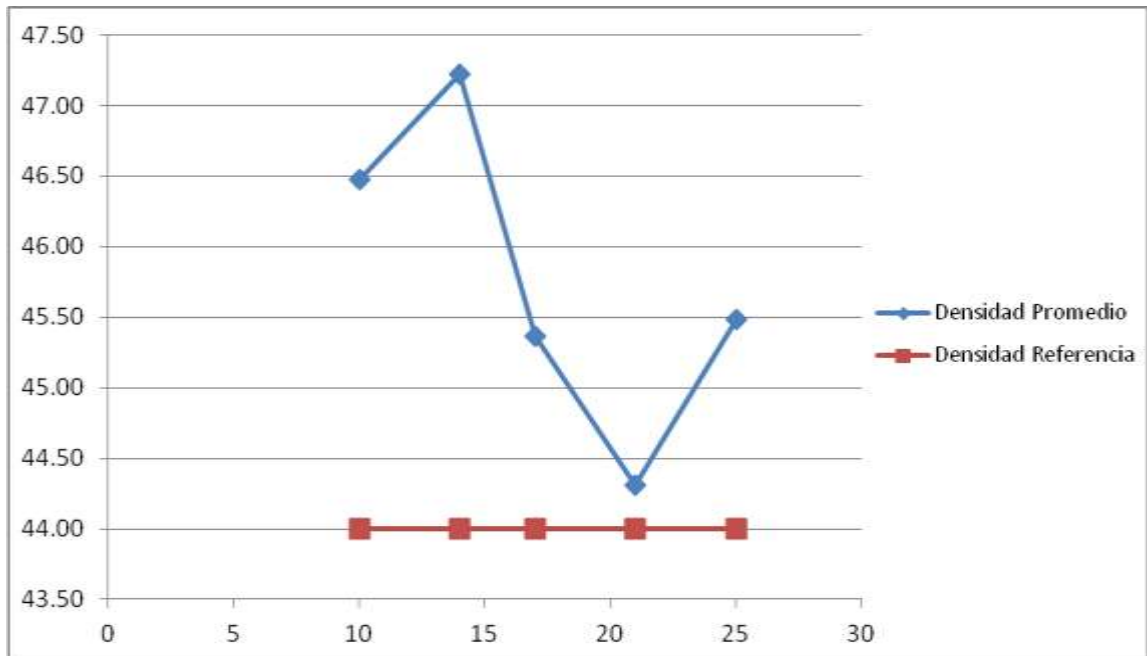
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Comparación de los cambios físicos a distintas temperaturas**

Temperatura (°C)	Adherencia			Llenado		Agujeros	
	Baja	Media	Alta	Lleno	No lleno	Significativos	No significativos
10	x				x		x
14		x			x		x
17		x		X			x
21			x	X			x
25			x	X		x	

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Comparación de la densidad promedio de la espuma rígida de poliuretano con la densidad de referencia**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Descripción de los factores que ocasionaron la pérdida de masa de espuma rígida de poliuretano**

Factores	Descripción
Tubo	La longitud de los tubos no es estándar
Unión	Presión a la que es sometido el gabinete no es uniforme
Pistola	Uso humano y forma de inyección

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Determinación del peso del revestimiento de Zinc recubierto a diferente temperatura. Prueba ASTM 90-81**

Temperatura (°C)	C_{promedio} (g/m²)
10	14,357
14	14,359
17	13,976
21	14,528
25	14,986

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Determinación de la resistencia de la lámina de acero en un recubrimiento de zinc a diferentes temperaturas. Prueba ASTM 239-89**

Temperatura (°C)	Número de baños
10	1
14	1
17	1
21	1
25	1

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la determinación del rango de temperatura óptima de la lámina de acero prepintado, previo a la inyección de la espuma rígida de poliuretano en la industria de refrigeración, se analizaron los resultados obtenidos a las siguientes temperaturas: 10, 14, 17, 21 y 25 grados centígrados, para obtener el rango óptimo de temperatura que cumpla con la densidad de referencia de la espuma rígida de poliuretano (44 kilogramos por metro cúbico). Referencia requerida en el diseño del equipo de refrigeración.

Los aspectos que fueron analizados en el experimento para cada temperatura se dividieron en cualitativos y cuantitativos. Los aspectos cualitativos que fueron analizados son: la adherencia, llenado y presencia de agujeros en la espuma rígida de poliuretano. Los aspectos cuantitativos fueron: la medición de la densidad y masa perdida de la espuma rígida de poliuretano.

Para poder realizar las tres corridas en cada temperatura se fabricaron 15 mullion. Cada uno llegó a tener la temperatura requerida con la ayuda de un sistema de refrigeración para poder ajustarla. Al realizar el proceso de espumado se requirió que los mullions estuvieran sobre unos moldes de madera a los cuales se les ejerció una presión de forma manual a partir de seis manivelas que se colocaron en tres secciones de los moldes, como se muestra en la imagen V, apéndice 4. Ya que los mullions estaban preparados para la inyección de la espuma rígida de poliuretano, se inyectaron 0,15 Kg con una pistola de inyección.

Fue necesario dejar los mullions en los moldes sin dejar de ejercer presión por 10 minutos para que la reacción exotérmica se llevara a cabo.

Todos los mullion fueron pesados antes y después del proceso de espumado para poder determinar la masa perdida. Al finalizar el proceso de espumado se abrieron los mullion para poder medir la densidad y observar los cambios físicos que sufrió la espuma rígida de poliuretano.

Para cada temperatura analizada se tomaron 3 muestras de lámina de acero de cada mullion y se le realizaron las pruebas ASTM 90-81 y ASTM 239-89. El procedimiento que se le realizó a la lámina de acero está especificado en cada prueba ASTM que se encuentra en anexos 3 y 4, respectivamente.

Como se muestra en la figura 5, se presenta la densidad promedio de la espuma rígida de poliuretano obtenida a cada 0,175 metros del mullion a 10 grados centígrados. La densidad promedio disminuye significativamente a cada 0,175 metros, por lo que la distribución de la densidad promedio obtenida va disminuyendo a lo largo del mullion. A esta temperatura, la adherencia de la espuma rígida de poliuretano sobre la lámina de acero fue baja y no llenó 0,04 metros del extremo de donde se inyecta en el mullion, como se muestra en la imagen I, apéndice 4. No hubo presencia de agujeros. La densidad promedio a esta temperatura estuvo alejada por 2,48 kilogramos por metro cúbico de la densidad de referencia.

En la figura 6 se observa el comportamiento de la densidad promedio de la espuma rígida de poliuretano a cada 0,175 metros a 14 grados centígrados. A una distancia de 0,175m y 0,35 m la densidad promedio se mantiene constante. A 0,525 m la densidad promedio aumenta significativamente al igual que a la

distancia de 0,70 metros. Por lo que la distribución de la densidad promedio solamente fue constante hasta los 0,35 metros recorridos; luego la densidad fue aumentando a lo largo del mullion. La espuma rígida de poliuretano a esta temperatura no llenó el mullion del extremo de donde se inyecta, como se muestra en la imagen II, apéndice 4 la adherencia en la lámina de acero fue media, y no hubo presencia de agujeros. La diferencia de la densidad promedio fue de 3,22 kilogramos por metro cúbico con la densidad de referencia.

En la figura 7 se observa el comportamiento de la densidad promedio de la espuma rígida de poliuretano a cada 0,175 metros a 17 grados centígrados. A una distancia de 0,35 metros se observa que la densidad aumentó significativamente comparado con la densidad a una distancia de 0,175 metros. Luego la densidad disminuye en el metro 0,525 y se mantiene constante a lo largo del mullion.

A esta temperatura la espuma rígida de poliuretano logró llenar todo el mullion manteniendo una adherencia media con la lámina de acero y no hubo presencia de agujeros. La diferencia de la densidad promedio fue de 1,36 Kg/m³ con la densidad de referencia.

Como se muestra en la figura 8, se presenta la densidad promedio de la espuma rígida de poliuretano obtenida a cada 0,175 metros del mullion a 21 grados centígrados. Se observa que el comportamiento de la gráfica fue constante teniendo solo una variación que no es significativa en el metro 0,525; por lo que a esta temperatura la densidad de la espuma rígida de poliuretano tiene una distribución constante a lo largo del mullion. Teniendo una diferencia la densidad promedio de 0,31 kilogramos por metro cúbico comparado con la densidad de referencia. A esta temperatura se presenta una alta adherencia de

la espuma rígida de poliuretano con la lámina de acero, sin presencia de agujeros. La espuma rígida de poliuretano si llenó completamente el mullion.

Como se muestra en la figura 9, se presenta la densidad promedio de la espuma rígida de poliuretano obtenida a cada 0,175 metros del mullion a 25 grados centígrados. En el comportamiento de la densidad de la espuma rígida de poliuretano es parecido al comportamiento que presenta a una temperatura de 17 grados centígrados, teniendo un incremento de la densidad en el metro 0,35. A esta temperatura, la adherencia de la espuma rígida de poliuretano con la lámina de acero fue alta. La espuma rígida de poliuretano logró llenar el mullion, pero la espuma siguió creciendo, lo que causó que en el extremo de donde se inyectó la masa separara las uniones de la lámina de acero; ocasionando, un desperfecto en el mullion; como se muestra en la imagen III, apéndice 4. Hay presencia de agujeros en la espuma rígida de poliuretano a esta temperatura. La densidad promedio tuvo una diferencia de 1,49 kilogramos por metro cúbico comparado con la densidad de referencia.

En la tabla XVI se muestran los factores que afectan para que exista una pérdida de espuma rígida de poliuretano en el proceso de espumado. En el tubo que se utiliza en la salida de la pistola para inyectar la espuma rígida de poliuretano queda masa dentro de él. Ya que no se utiliza el mismo y no se tiene estandarizado el tamaño del tubo, la pérdida de masa es distinta para cada corrida como se muestra en la tabla XXVI, en apéndice 3.

Hay pérdida de masa en las uniones de los mullion, ya que la presión que se le ejerce no es uniforme debido a que la presión la hacen de forma manual.

Para determinar la temperatura óptima de operación, se utilizó el análisis estadístico de ANOVA; en la tabla XXVII, apéndice 3 se muestra la varianza de

la densidad promedio para cada temperatura. A 21 grados centígrados es en donde hay una menor varianza comparado con las demás temperaturas y el dato es menor que la distribución F, por lo tanto se concluye que no hay diferencia significativa entre las proporciones de las densidades. La varianza de la densidad promedio para las temperaturas de 10 y 14 grados centígrados son mayores que la distribución F, por lo que sí hay una diferencia significativa entre los datos, dando como resultado una distribución de la densidad promedio no uniforme.

En la tabla XXVIII se muestran los datos obtenidos de la prueba ASTM 90-81 realizada. Se puede observar que la varianza es menor que el factor crítico mínimo de la distribución F como se muestra en la tabla XXVII, por lo que no hay diferencia significativa entre los pesos de galvanizado de las láminas de acero a distintas temperaturas. En la tabla XVIII se muestra el número de baños que se le realizó a la lámina de acero en sulfato de cobre según la prueba ASTM 239-89, el recubrimiento de zinc a lo largo de la hoja de lámina es uniforme, ya que el número de baños fue de uno para todas las temperaturas, ver imagen IV, apéndice 4.

En conclusión, se determinó que la temperatura óptima de operación de la lámina de acero prepintado es de 21 grados centígrados, presentando una distribución uniforme de la densidad promedio de la espuma rígida de poliuretano a lo largo del mullion y es la densidad que más se acercó a la densidad de referencia técnica.

Físicamente la espuma rígida de poliuretano presentó una alta adherencia a la lámina de acero prepintado, llenó completamente el mullion y no tuvo presencia de agujeros.

CONCLUSIONES

1. El rango de temperatura óptima de la lámina de acero prepintado de los gabinetes previo a la inyección de la espuma rígida de poliuretano debe ser entre 21 y 23 grados centígrados.
2. La distribución uniforme de la densidad promedio de la espuma rígida de poliuretano a lo largo de mullion se da a una temperatura de 21 grados centígrados, según el análisis estadístico de ANOVA.
3. Los mullion no se llenaron de espuma rígida de poliuretano completamente, estando la lámina de acero prepintado a una temperatura de 10 y 14 grados centígrados.
4. A una temperatura de 25 grados centígrados se dio la mayor adherencia y se presentaron agujeros en la espuma rígida de poliuretano. A esta temperatura el mullion se llenó, pero se salió por las uniones del mullion, ocasionando daños al equipo.
5. La mayor pérdida de espuma rígida de poliuretano durante el proceso de espumado se dio cuando la espuma pasó por el tubo que conecta el mullion con la pistola de inyección.

6. El peso del recubrimiento promedio de zinc en la lámina de acero del mullion fue de $14,441 \text{ g/m}^2$ según la prueba ASTM 90-81; y a distintas temperaturas no hay diferencias significativas respecto al peso promedio obtenido, según el análisis estadístico de ANOVA.
7. El revestimiento a lo largo de la lámina de acero prepintado fue uniforme a distintas temperaturas, según la prueba ASTM 239-89.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio que determine el proceso previo al espumado apropiado para que la lámina de acero prepintado del gabinete alcance el rango de temperatura óptima, para la inyección de la espuma rígida de poliuretano.
2. Determinar la presión que se le debe ejercer a los gabinetes en el proceso de espumado y realizar un diseño para que la presión sea constante a lo largo del gabinete.

BIBLIOGRAFÍA

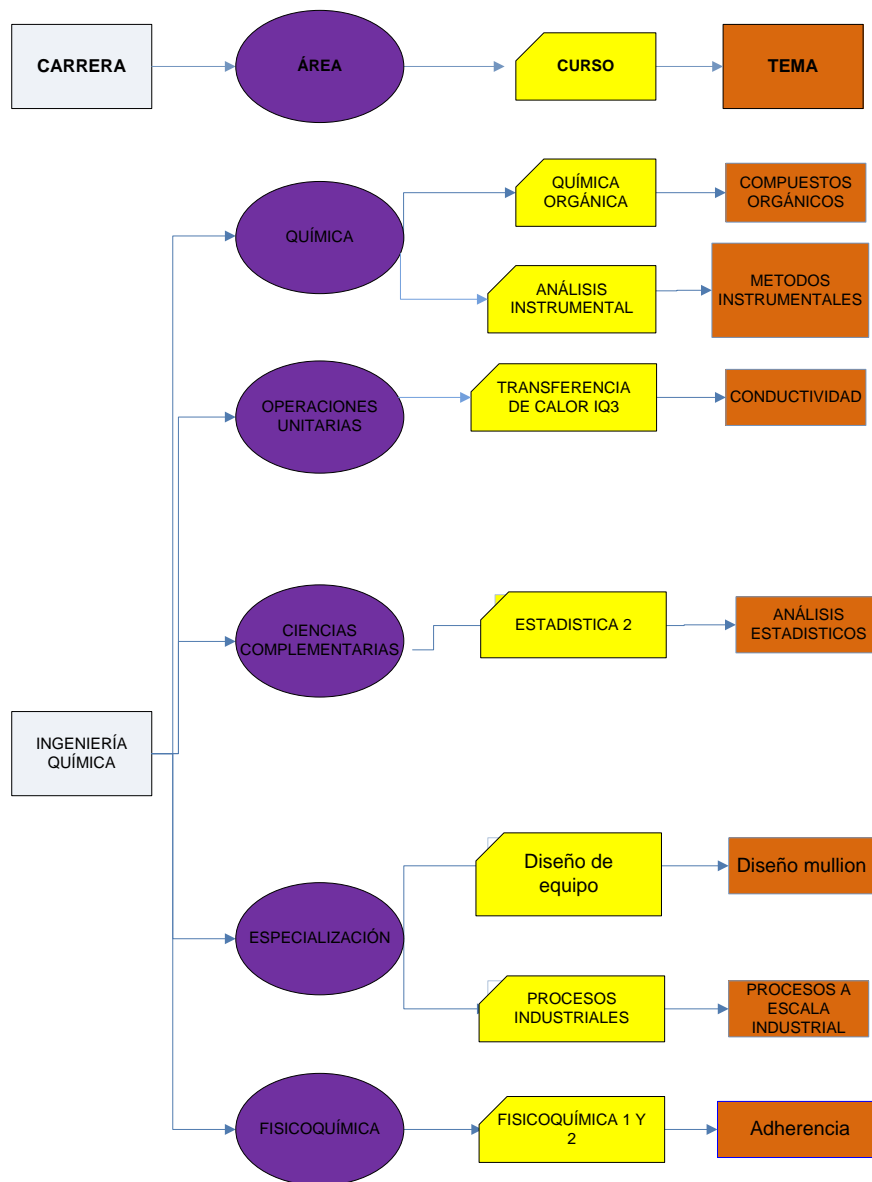
1. ALONZO GARCÍA, Cynthia Lisbeth. *Implementación del sistema de controles de producción para la elaboración de la espuma de poliuretano, para la industria manufactura*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995. 118 p.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Annual Book of ASTM Standards*. EE.UU. Printed in Easton, MD, U.S.A. 1990. 624 p.
3. _____. *Annual Book of ASTM Standards*. EE.UU. Printed in Baitimore, MD, 2004. 878 p.
4. ATEPA. *Libro blanco de poliuretano proyectado*. Madrid, 2010. [en línea]. <http://www.atepa.org/PUR.pdf> [Consulta: octubre de 2013].
5. CANCINO CASTILLO, Edwin Roberto. *Evaluación e implementación para la validación técnica de los ensayos de galvanizado bajo las normas ASTM 90-81 y ASTM 239-89 que se realizan en el laboratorio de análisis fisicoquímico de la sección de química industrial, del centro de investigaciones de Ingeniería*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 149 p.

6. CENGEL, Yunus A. *Transferencia de calor y masa*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 850 p.
7. CHANG, Raymond. *Química general*. 11a ed. China: McGraw-Hill, 2013. 1085 p.
8. ESTRADA DE LOS ÁNGELES, María Alejandra. *Evaluación e implementación de la calibración estática y dinámica de un equipo emisor de rayos Gamma (PGNAA) tomando como patrón un analizador de rayos X, utilizada en la industria de cemento; mediante método establecido en norma ASTM D6543*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 92 p.
9. ESTRADA MARTÍNEZ, José Enrique. *Sistemas de aislamiento térmico aplicados a la industria petrolera*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995. 55 p.
10. ULRICH, G. D. *Procesos de ingeniería química*. 2a ed. México: McGraw-Hill. 1991. 513 p.
11. VARGAS PERÉZ, Osman Danilo. *Análisis para el uso del ciclopentano como agente expansivo de la espuma de poliuretano sustituyendo al refrigerante HCFC 141-B en la industria de refrigeración para la protección del medio ambiente*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995. 77 p.

12. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond. *Probabilidad y estadística*. 9a ed. México: Pearson Educación, 2012. 721 p.

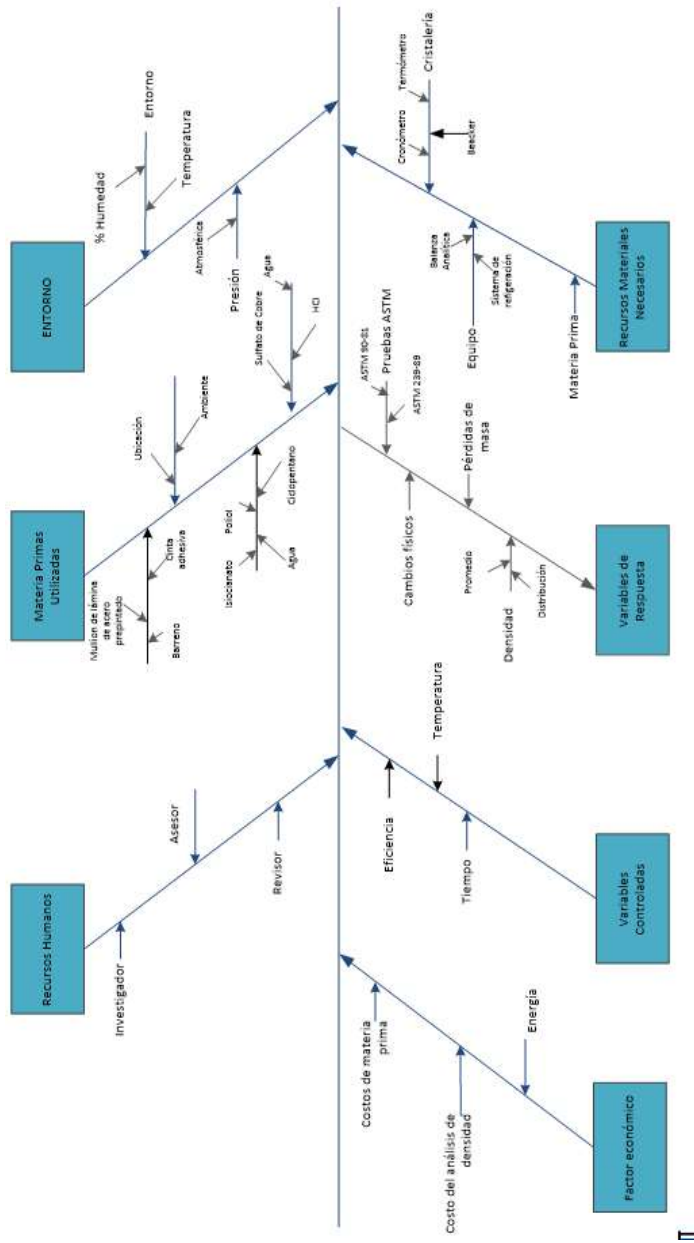
APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Datos calculados**

Tabla XIX. **Densidad promedio a cada 0,175 m a lo largo del mullion a 10 °C**

Temperatura 10 °C	
0,175	48,9624021
0,35	46,5715983
0,525	45,6751034
0,7	44,7119542

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Densidad promedio a cada 0,175 m a lo largo del mullion a 14 °C**

Temperatura 14 °C	
0,175	45,4001722
0,35	45,4753496
0,525	47,3664014
0,7	50,6367722

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Densidad promedio a cada 0,175 m a lo largo del mullion a 17 °C**

Temperatura 17 °C	
0,175	43,5855004
0,35	46,6737759
0,525	45,5059475
0,7	45,6924402

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Densidad promedio a cada 0,175 m a lo largo del mullion a 21 °C**

Temperatura 21 °C	
0,175	44,4456804
0,35	44,561454
0,525	43,8414359
0,7	44,3827817

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Densidad promedio a cada 0,175 m a lo largo del mullion a 25 °C**

Temperatura 25 °C	
0,175	45,5397428
0,35	47,194617
0,525	44,6825349
0,7	44,5324762

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Densidad promedio a distintas temperaturas**

Temperatura (°C)	Densidad promedio (Kg/m ³)	Densidad referencia (Kg/m ³)
10	46,48	44
14	47,21967387	44
17	45,36441599	44
21	44,30783799	44
25	45,4873427	44

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Peso del galvanizado promedio a distintas temperaturas de las láminas de acero. Prueba ASTM 90-81**

Temperatura (°C)	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Cpromedio (g/m ²)
	C(g/m ²)	C(g/m ²)	C(g/m ²)	
10	14,129	14,873	14,069	14,357
14	14,361	14,495	14,220	14,359
17	14,049	13,900	13,978	13,976
21	14,562	14,279	14,745	14,528
25	14,984	15,256	14,716	14,986

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Masa perdida promedio a distintas temperaturas**

Temperatura (°C)	Masa perdida (Kg)
10	0,160
14	0,168
17	0,135
21	0,160
25	0,168

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Datos obtenidos del análisis estadístico ANOVA para la densidad a distintas temperaturas**

F	Datos críticos	Temperaturas (°C)	Densidad (Kg/m ³)	Varianza
1,980	0,149	10	46,480	3,315
		14	47,220	6,017
		17	45,364	1,669
	3,056	21	44,308	0,102
		25	45,487	1,492

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Datos obtenidos del análisis estadístico ANOVA para la Norma ASTM 90-81 realizada**

Distribución F	Crítico para F	Temperatura (°C)	Peso galvanizado (g/m ²)	Varianza
5,677	min 0,012	10	14,357	0,200
		14	14,359	0,019
		17	13,976	0,006
	max. 3,478	21	14,528	0,055
		25	14,986	0,073

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Imágenes**

Imagen 1. **Espuma rígida de poliuretano en el mullion luego del proceso del espumado a 10 °C**



Fogel de Centroamérica, S. A., junio 2013.

Imagen II. **Espuma rígida de poliuretano en el mullion luego del proceso del espumado a 14 °C**



Fogel de Centroamérica, S. A., junio 2013.

Imagen III. **Espuma rígida de poliuretano en el mullion luego del proceso del espumado a 25 °C**



Fogel de Centroamérica, S. A., junio 2013.

Imagen IV. **Lámina de acero luego de realizar la prueba ASTM 239-89**



Laboratorio de Química, Facultad Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala,
septiembre 2014.

Imagen V. **Mullions en los moldes de madera que se les ejerce presión con las manivelas**



Fogel de Centroamérica, S. A., junio 2013.

Tabla XXIX. **Propiedades físicas y químicas del isocianato**

Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Líquido viscoso
Densidad	1.09 g/cm ³ (25°C)
Color	Amarillo Claro
Temperatura de ebullición	32°C
Temperatura de inflamación	>100°C
Toxicidades	
<p>Los polioles son moderadamente irritantes de la piel y mucosas.</p> <p>-Inhalación: puede haber irritación de las mucosas. -Contacto con la piel: causa irritación de la piel. -Contacto con los ojos: causa irritación de los ojos. -Ingestión: la irritación de las mucosas se traduce en náuseas</p>	
Medidas contra incendio	
<p>Agregar espuma, arena seca, polvo, dióxido de carbono. No utilizar agentes hídricos. Usar el equipo de protección. (Equipo de respiración y ropa protectora)</p>	
Almacenamiento	
<p>Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar seco. Evítese el calentamiento superior a 40-50 °C. Hay que adoptar las medidas de precaución usuales, para los productos químicos. Mantener bien cerrado. Almacenar en lugares secos y ventilados. Evitar que penetre humedad.</p>	

Fuente: elaboración propia.

POLIOL

Tabla XXX. **Propiedades físicas y químicas del polioliol**

Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Líquido viscoso
Densidad	1,09 g/cm ³ (25 °C)
Color	Amarillo Claro
Temperatura de ebullición	32°C
Temperatura de inflamación	>100°C
Toxicidades	
Los polioles son moderadamente irritantes de la piel y mucosas. -Inhalación: puede haber irritación de las mucosas. -Contacto con la piel: causa irritación de la piel. -Contacto con los ojos: causa irritación de los ojos. -Ingestión: la irritación de las mucosas se traduce en náuseas	
Medidas contra incendio	
Agregar espuma, arena seca, polvo, dióxido de carbono. No utilizar agentes hídricos. Usar el equipo de protección. (Equipo de respiración y ropa protectora)	
Almacenamiento	
Manténgase el recipiente bien cerrado y en lugar seco. Evítase el calentamiento superior a 40-50 °C. Hay que adoptar las medidas de precaución usuales, para los productos químicos. Mantener bien cerrado. Almacenar en lugares secos y ventilados. Evitar que penetre humedad.	

Fuente: elaboración propia.

CICLOPENTANO

Tabla XXXI. **Propiedades físicas y químicas del ciclopentano**

Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Líquido poco viscoso
Densidad	0,8 g/cm ³ (25 °C)
Color	Incoloro
Temperatura de ebullición	49 °C
Temperatura de inflamación	37 °C
Toxicidades	
<p>-Inhalación: tos, náuseas, dolor de cabeza, vértigo, falta de coordinación, somnolencia o pérdida del conocimiento. -Contacto con la piel: enrojecimiento. -Contacto con los ojos: enrojecimiento. -Ingestión: dolor de garganta, dolor abdominal, diarrea, náuseas o vómitos.</p>	
Medidas contra incendio	
Agregar espuma, arena seca, polvo, dióxido de carbono. No utilizar agentes hídricos. Usar el equipo de protección. (Equipo de respiración y ropa protectora)	
Almacenamiento	
No coma, beba o fume en el área de trabajo. A prueba de incendio. Bien cerrado. Separado de oxidantes fuertes y alimentos y piensos. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas. Medidas para contener el efluente de extinción de incendios.	

Fuente: elaboración propia.

ÁCIDO CLORHÍDRICO

Tabla XXXII. **Propiedades físicas y químicas del ácido clorhídrico**

Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Líquido incoloro o levemente amarillo.
Densidad	1,12 g/cm ³ (25 °C)
Color	Incoloro o amarillo.
Temperatura de ebullición	48 °C
Toxicidades	
<p>-Inhalación: puede producir irritación, edema o corrosión de traqueo respiratorio. -Contacto con la piel: quemaduras, úlceras e irritación. Lavar con agua abundante. -Contacto con los ojos: inflamación en el ojo. Lavar con abundante agua. -Ingestión: puede producir gastritis o quemaduras. Se recomienda beber agua o leche. No inducir el vómito.</p>	
Almacenamiento	
<p>Debe almacenarse en lugares secos, bien ventilados, alejado de materiales oxidantes y protegido de daños físicos.</p>	

Fuente: elaboración propia.

SULFATO DE COBRE

Tabla XXXIII. **Propiedades físicas y químicas del sulfato de cobre**

Propiedades físicas y químicas	
Apariencia	Cristales azules
Densidad	3,603 g/cm ³ (25 °C)
Color	Azul
Temperatura de ebullición	650 °C
Toxicidades	
<p>-Inhalación: irritación -Contacto con la piel: irritación. Lavar con exceso de agua. -Contacto con los ojos: irritación. Lavar con exceso de agua. -Ingestión: es solo moderadamente tóxica tras exposición oral aguda. Beber leche.</p>	
Almacenamiento	
<p>Almacenar en área limpia, seca y bien ventilada. Mantener fuera de la luz solar directa. No almacenar cerca de alimentos o al alcance de los niños. Proteger de la lluvia y del calor excesivo.</p>	

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo I. Código de seguridad NFPA



Fuente: NFPA.

Anexo II. **Símbolos de seguridad de los reactivos**

Inflamable



Nocivo



Fuente: NFPA.

Anexo III. Prueba ASTM 90-81



Denominación: A 90 - 81

Método de Ensayo Estándar para el Peso del Revestimiento de Zinc-Recubierto (Galvanizado) para artículos de Hierro o Acero¹

Esta norma ha sido publicada bajo la denominación E9 A90, el número inmediato que sigue a la denominación indica el año de adopción inicial o, en caso de revisión, el año de la última modificación. Un número entre paréntesis indica el año de la última re-aprobación. Un carácter (bold) o (i) como superíndice indica un cambio en la redacción desde la última revisión o re-aprobación.

Este especificación ha sido aprobada para su uso por las agencias del Departamento de Defensa y para la inclusión en el Índice de Especificaciones y Estándares del Departamento de Defensa.

1. Alcance

1.1 Este método cubre procedimientos para la determinación del peso del recubrimiento de zinc-recubierto (galvanizado) de alambre, y otros artículos (galvanizado) recubiertos de zinc.

NOTA 1 - El resultado final determinado por este método se expresará en unidades pulgada-lb/a o en unidades del SI, en función de las unidades que se encuentran en las especificaciones del material de origen.

2. Documentos de referencia

2.1 Normas ASTM:

Especificación A525 para los requisitos generales para la hoja de acero, recubierta de zinc (galvanizado) por el proceso de inmersión en caliente²

Especificación D1193 del Reactivo Agua³

E29 Práctica para el uso de Dígitos Significativos en los Datos de Prueba para determinar la conformidad con las Especificaciones⁴

3. Importancia

3.1 Este ensayo proporciona un método estándar para la determinación del peso del recubrimiento de zinc en los artículos de hierro o de acero proporciona una protección contra la corrosión. Dado que la protección es proporcionada por la pérdida de sacrificio del zinc, el grado de protección es proporcional al peso del recubrimiento del zinc. Las especificaciones de los artículos recubiertos de zinc prevén, a menudo diferentes clases (pesos) de la capa para que el comprador pueda seleccionar el recubrimiento más adecuado a sus necesidades.

4. Reactivos

4.1 Pureza de los Reactivos - Productos químicos de grado reactivo se utilizan en todas las pruebas. A menos que se indique lo contrario se pretende que todos los reactivos deberán ajustarse a las especificaciones de la Comisión de Reactivos Analíticos de la Sociedad Americana de Química, cuando éstas están disponibles⁵.

Otros grados se pueden utilizar, siempre que primero se compruebe que el reactivo sea de pureza lo suficientemente alta para permitir que se utilice sin disminuir la exactitud de la determinación.

4.2 Pureza del Agua - A menos que no se indique lo contrario, las referencias al agua deben ser comprendidas como se define en el Tipo IV de la Especificación D1193.

4.3 Solución de Tricloruro de Antimonio - Disolver 20 g de Sb_2O_3 o 32 g de $SbCl_3$ en 1000 ml de HCl (gravedad específica 1.19).

4.4 Ácido Clorhídrico (gravedad específica 1.19) - Ácido Clorhídrico concentrado (HCl).

4.5 Ácido Clorhídrico - Solución de Tricloruro de Antimonio - Añadir 5 ml de solución de tricloruro de antimonio a 100 ml de HCl (gravedad específica 1.19).

4.6 Ácido Clorhídrico (1+1) - Mezclar 500 ml de HCl con 500 ml del reactivo agua y enfriar a temperatura ambiente.

5. Precauciones

5.1 Precaución - Pequeñas cantidades del gas venenoso estibina (SbH_3) pueden ser desarrolladas durante el proceso de extracción por el método de ácido clorhídrico en bicloruro de antimonio. Están presentes vapores de ácido clorhídrico, y gas de hidrógeno que se desprende en el proceso de extracción. Por lo tanto, el ensayo debe realizarse en condiciones de adecuada ventilación. Se recomienda una campana de extracción para un gran número de muestras o cuando el ensayo se lleve a cabo con frecuencia durante largos periodos de tiempo.

5. Muestreo

5.1 Hojas de Galvanizado - En la determinación de las muestras, los pesos del recubrimiento deberán ser fijados de conformidad con la especificación A525. Las hojas de muestra deberán tener una superficie mínima de 3 in^2 o 2000 mm^2 , pero de preferencia aproximadamente 5 in^2 o 3300 mm^2 .

NOTA 2 - Para mayor comodidad en el cálculo de los resultados en unidades convencionales, la muestra debe tener un área de 5.06 in^2 (2.25 ± 0.01 in^2 o 2.54 ± 0.01 in de diámetro). El peso de la capa en gramos en una muestra de esa área es numéricamente igual al peso de la capa en oz/in^2 . Para que los resultados se expresen en unidades del SI, la muestra debe tener una superficie

¹ Este método está bajo la jurisdicción del Comité ASTM A-5 en productos de acero y hierro recubiertos y es la responsabilidad directa del Subcomité A95.07 sobre Métodos de Prueba. Edición actual aprobada el 26 de Junio 1981. Publicada en Diciembre 1981. Originalmente publicado como A90-23 T. Última edición A95-89 (1978).

² Libro anual de Normas ASTM, Vol. 01.08

³ Libro anual de Normas ASTM, Vol. 11.01

⁴ Libro anual de Normas ASTM, Vol. 14.02

⁵ Productos químicos reactivos, Sociedad Química Americana de Especificaciones, Am. Químico Soc., Washington, DC. Para obtener sugerencias sobre las pruebas de los reactivos no enumerada por la

Sociedad Americana de Química, ver "Reactivos Químicos y Estándares", por José Rosillo, D. Van Nostrand Co., Inc., Nueva York, NY, y la "Farmacopea de los Estados Unidos".



3330 mm² (57.7 ± 0.1 mm² o 68.1 ± 0.1 mm de diámetro).

6.2 Alambre Galvanizado – Las muestras deben estar garantizadas según lo señalado en la especificación apropiada. El modelo de alambre galvanizado puede ser de cualquier longitud de más de 12 pulgadas (aproximadamente 300 mm), pero de preferencia cerca de 24 pulgadas (aprox. 600 mm). En caso en que una longitud continua no esté disponible, ejemplares más cortos por un total de más de 12 pulgadas, pero de preferencia cerca de 24 pulgadas, deberán utilizarse. Puesto que la densidad del acero es conocida (0.283 lb/plg³ o 7830 kg/m³), no es necesario el uso de un periodo específico de la muestra.

6.3 Artículos de galvanizado exceptuando hojas o alambres – Las muestras para la determinación del peso del recubrimiento deben ser garantizadas según lo señalado en la especificación adecuada. Salvo disposición contraria, las muestras deben tener una superficie galvanizada mínima de 3 plg² (1935 mm²). Para objetos muy pequeños, varios pedazos pueden ser despojados para obtener la superficie mínima.

NOTA 3 – En el caso de los artículos con roca, tales como pernos y tornillos, la determinación se efectuará sobre una parte de los artículos que no incluya parte de la roca.

7. Procedimiento

7.1 El despojado de la capa de zinc de las muestras se puede hacer utilizando la solución de ácido clorhídrico en tricloruro de antimonio (Método de Referencia) o el ácido clorhídrico (1×1) (Método Estándar Alternativo).

7.2 Limpie las muestras lavando con disolvente neutro u otro disolvente adecuado a fondo, luego enjuague con alcohol y seque.

7.3 Pesar las muestras de forma individual con una precisión de 0.01 g., salvo aquellos artículos que no sean de hoja o de alambre con un peso de más de 125 g., ya que estos pueden ser pesados con una precisión de 0.1 gramo. Después de pesar, sumerja cada muestra por separado en la solución de extracción y permita que se mantenga hasta que la violenta evolución del hidrógeno haya cesado, y sólo unas pocas burbujas se desarrollen. Esto requiere de 15 a 30 segundos, excepto en el caso de los revestimientos sherardizados, que requieren un tiempo más largo. La misma solución se puede utilizar varias veces hasta que el tiempo requerido para la extracción se hace inconvenientemente largo. La temperatura de la solución de extracción no debe ser superior en ningún momento a 38°C (100°F). Después del despojado, se lavan las muestras con agua corriente, inmersión en agua caliente, y limpiar o secar. Pesar las muestras de nuevo, a la misma precisión que en el primer pesaje.

7.4 Muestra de Hojas – Determinar el área de la hoja (una superficie) con una precisión de 0.01 plg² o 5 mm². Si las muestras se prepararon a las dimensiones de lo dispuesto en la Nota 2, se presumen que tienen un Área de 5.06 plg²

(unidades libra-pulgada) o 3330 mm² (unidades SI). Cuando no sea posible determinar con precisión la zona, como en muestras de hojas onduladas, el espesor de la lámina del despojado se determinará con precisión de 0.001 plg o 0.01 mm.

7.5 Muestras de Alambre – Determinar el diámetro del cable desnudo con una precisión de 0.001 plg o 0.01 mm tomando el promedio de dos mediciones en ángulo recto entre sí.

7.6 Muestras que no sean de hoja o de alambre – Determinar la superficie total cubierta de la muestra original con una precisión de 0.01 plg² o 5 mm². Por otra parte, para las muestras de espesor uniforme de metales comunes, tales como un pedazo de placa o tubo, determinar el espesor promedio de la muestra despojada del recubrimiento con una precisión de 0.001 plg o 0.01 mm.

B. Cálculo

8.1 Hoja de Galvanizado

8.1.1 Resultados en unidades pulgada-libra

8.1.1.1 Cuando el área de la hoja es determinado, calcule el peso del recubrimiento de zinc de la siguiente manera:

$$C = [(W_1 - W_2) / A] \times K$$

Donde:

C = Peso del recubrimiento, *oz/plg²* de la hoja.

W₁ = Peso original de la muestra, gramos.

W₂ = Peso de la muestra sin recubrimiento, gramos.

A = Área de la hoja en plg².

K = Constante = 5.06 cuando A está en plg² = 3.28 x 10³ cuando A está en mm².

NOTA 4 – Si la muestra fue preparada para las dimensiones de lo dispuesto en la Nota 2, que tiene un área de 5.06 plg², la pérdida de peso en gramos es numéricamente igual al peso de la capa en *ozes por pie cuadrado* de hoja.

8.1.1.2 Cuando no sea posible obtener una muestra de la superficie medible, la siguiente ecuación puede ser utilizada para calcular el peso de la capa:

$$C = [(W_1 - W_2) / W_2] \times T \times K$$

Donde:

C = Peso del recubrimiento, *oz/plg²* de la hoja.

W₁ = Peso original de la muestra, gramos.

W₂ = Peso de la muestra sin recubrimiento, gramos.

T = Espesor de la hoja sin recubrimiento, pulgadas o milímetros, y

K = Constante = 652 si T está en plg. = 25.7 si T está en mm.

**8.1.2 Resultados en unidades SI**

8.1.2.1 Cuando el área de la hoja es determinado, calcule el peso del recubrimiento de zinc de la siguiente manera:

$$C = [(W_1 - W_2) / A] \times K$$

Donde:

C = Peso del recubrimiento, g/m^2 de la hoja.

W_1 = Peso original de la muestra, gramos.

W_2 = Peso de la muestra sin recubrimiento, gramos.

A = Área de la hoja en plg^2 o mm^2 , y

K = Constante = 1.55×10^3 si A está en plg^2 = 1×10^3 si A está en mm^2 .

NOTA 3 - Si la hoja de muestra fue preparada para las dimensiones de la diámetro en la Nota 2, que tiene un área de 3330 mm^2 , el factor KA es de aproximadamente 300, entonces puede ser utilizado en el cálculo.

8.1.2.2 Cuando no sea posible obtener una muestra de la superficie medible, la siguiente ecuación puede ser utilizada para calcular el peso de la capa:

$$C = [(W_1 - W_2) / W_2] \times T \times K$$

Donde:

C = Peso del recubrimiento, g/m^2 de la hoja.

W_1 = Peso original de la muestra, gramos.

W_2 = Peso de la muestra sin recubrimiento, gramos.

T = Espesor de la hoja sin recubrimiento, pulgadas o milímetros, y

K = Constante = 1.99×10^3 si T está en plg . = 7.83×10^3 si T está en mm .

8.2 Alambre Galvanizado**8.2.1 Resultados en unidades pulgada-libra:**

8.2.1.1 Calcule el peso del recubrimiento de zinc de la siguiente manera:

$$C = [(W_1 - W_2) / W_2] \times D \times M$$

Donde:

C = Peso de la capa, oz/pie^2 de la superficie del cable sin recubrimiento.

W_1 = Peso original de la muestra, gramos.

W_2 = Peso de la muestra sin recubrimiento, gramos.

D = Diámetro del cable sin recubrimiento, pulgadas o milímetros, y

M = Constante = 163 si D está en pulgadas. = 6.42 si D está en milímetros.

8.2.2 Resultados en unidades SI:

8.2.2.1 Calcule el peso del recubrimiento de zinc de la siguiente manera:

$$C = [(W_1 - W_2) / W_2] \times D \times M$$

Donde:

C = Peso de la capa, g/m^2 de la superficie del cable sin recubrimiento.

W_1 = Peso original de la muestra, gramos.

W_2 = Peso de la muestra sin recubrimiento, gramos.

D = Diámetro del cable sin recubrimiento, pulgadas o milímetros, y

M = Constante = 4.97×10^4 si D está en pulgadas. = 1.95×10^3 si D está en milímetros.

8.3 Artículos Galvanizados excepto hojas o alambres:**8.3.1 Resultados en unidades pulgada-libra:**

8.3.1.1 Calcule el peso del recubrimiento de zinc de la siguiente manera:

$$C = [(W_1 - W_2) / A] \times N$$

Donde:

C = Peso del recubrimiento, oz/pie^2 de la superficie.

W_1 = Peso original de la muestra, gramos.

W_2 = Peso de la muestra sin recubrimiento, gramos.

A = Área del recubrimiento de la muestra original, plg^2 o mm^2

N = Constante = 5.08 si A está en plg^2 = 3.25×10^3 si A está en mm^2 .

8.3.1.2 Si la muestra tiene un espesor uniforme de metal común, el peso del recubrimiento de zinc se puede calcular de la siguiente manera:

$$C = [(W_1 - W_2) / W_2] \times G \times Z$$

Donde:

C = Peso del recubrimiento, oz/pie^2 de la superficie.

W_1 = Peso original de la muestra, gramos.

W_2 = Peso de la muestra sin recubrimiento, gramos.

G = Espesor de la muestra sin recubrimiento, pulgadas o milímetros, y

Z = Constante = 326 si G está en pulgadas. = 12.8 si G está en milímetros.

**8.3.2 Resultados en unidades SI:**

8.3.2.1 Calcule el peso del recubrimiento de zinc de la siguiente manera:

$$C = [(W_1 - W_2) / A] \times N$$

Donde:

C = Peso del recubrimiento, g/m² de la superficie.

W₁ = Peso original de la muestra, gramos.

W₂ = Peso de la muestra sin recubrimiento, gramos.

A = Área del recubrimiento de la muestra original, plg² o mm².

N = Constante = 1.55 x 10³ si A está en plg² = 1 x 10⁶ si A está en mm².

8.3.2.2 Si la muestra tiene un espesor uniforme de metal común, el peso del recubrimiento de zinc se puede calcular de la siguiente manera:

$$C = [(W_1 - W_2) / W_2] \times G \times Z$$

Donde:

C = Peso del recubrimiento, g/m² de la superficie.

W₁ = Peso original de la muestra, gramos.

W₂ = Peso de la muestra sin recubrimiento, gramos.

G = Espesor de la muestra sin recubrimiento, pulgadas o milímetros, y

Z = Constante = 9.95 x 10⁴ si G está en pulgadas = 3.92 x 10³ si G está en milímetros.

9. Informe

9.1 El peso del recubrimiento de la hoja galvanizada se expresa en peso por unidad de superficie de la hoja, que es la suma de los pesos de la capa en ambas superficies de la hoja. Los pesos del recubrimiento en todos los artículos galvanizados, excepto en las hojas, se expresan en peso por unidad de área de superficie.

9.2 Informar el peso del recubrimiento de zinc con una precisión de 0.01 oz/plg² para unidades pulgada-libra.

9.3 Informar sobre el peso del recubrimiento de zinc con una precisión de 1 g/m² para unidades del SI.

9.4 Cuando el peso de la capa de un número de ejemplares se promedian para determinar la conformidad con un límite de especificación, el valor medio se informará a la precisión que se describe en 9.2 y 9.3 de acuerdo con el Método de Redondeo Práctico E29.

10. Precisión y Exactitud

10.1 La precisión y la exactitud de este método no se han determinado aún, pero los datos se están recolectando, y una declaración de precisión se incluirá cuando se formule.

Fuente: ASTM.

Anexo IV. Prueba ASTM 239-89



Denominación: A 239 - 89

Método de Ensayo Estándar para Localizar el Punto más Delgado en un recubrimiento de Zinc en artículos de Hierro o Acero mediante la Prueba de Preece (Inmersión en Sulfato de Cobre)¹

Esta norma ha sido publicada bajo la denominación tipo A 239, el número inmediato que sigue a la denominación indica el año de adopción inicial o, en caso de revisión, el año de la última modificación. Un número entre paréntesis indica el año de la última re-aceptación. Un carácter especial (c) como superíndice indica un cambio en la redacción desde la última revisión o re-aceptación.

La Prueba de Preece es una prueba para la uniformidad solamente, y no pretende ser una prueba para el peso del recubrimiento. Esta prueba se ve a utilizar dentro de los límites del alcance descritos a continuación.

Esta especificación ha sido aprobada para su uso por los agentes del Departamento de Defensa. Consulte el Índice de Especificaciones y Estándares del Departamento de Defensa para el año específico de la cuestión que ha sido adoptado.

1. Alcance

1.1 Este método de ensayo, conocido como la Prueba de Preece, cubre el procedimiento para determinar, mediante el uso de una solución de sulfato de cobre, el lugar más delgado en un recubrimiento de zinc (por inmersión en caliente, galvanizado, o rociado) para artículos de hierro o acero que están cubiertos después de que se ha formado por fundición, diseño, prensado y otros métodos de formación. Algunos ejemplos son: tubería eléctrica metálica y la coraza de tubos rígidos, piezas de fundición y forja, y acero estructural, en un dispositivo especial, como poleíne, constructores y herramientas de labor, pernos, tuercas y tornillos y otros dispositivos generales.

1.2 En el uso de la Prueba de Preece el recubrimiento de zinc es depositado a través de diferentes procesos (por ejemplo, por inmersión en caliente, galvanizado, o rociado) por lo que requiere cautela al interpretar el valor de los resultados. Dado que el número de baños hasta alcanzar el punto final puede variar considerablemente entre los diferentes sistemas de revestimiento de zinc, incluso con la duplicación de cantidades de zinc, cualquier comparación del número de baños se debe limitar a los sistemas idénticos de revestimiento de zinc.

1.3 Excluidos de la Prueba de Preece está la hoja de acero formada por inmersión en caliente o líneas de cataforesis como también los productos de hoja que son normalmente sujetos a formación adicional después de un proceso de recubrimiento. También se excluyen de la Prueba de Preece todos los alambres galvanizados y productos de alambre ya sea de forma continua o por lotes antes o después de la formación.

1.4 Esta norma puede involucrar materiales peligrosos, operaciones y equipos. Esta norma no pretende tratar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de su uso.

2. Significado y Uso

2.1 Este método de ensayo está diseñado como una prueba de inspección o de aceptación en la determinación de las más finas partes del recubrimiento de zinc en los elementos de una nueva cubierta (véase el Apéndice X1). Las variaciones de espesor del recubrimiento puede ser debido al proceso por el cual se aplica el zinc (por inmersión en caliente, galvanizado, o vertidos), o por la geometría de la parte que está cubierta. Durante la galvanización en caliente, el espesor del recubrimiento se ve afectado por el patrón de drenaje del zinc fundido, mientras que durante la pulverización del zinc (metalización), el espesor del recubrimiento puede depender de la manipulación del operador de la boquilla. La geometría de la pieza también puede influir en el espesor del recubrimiento sobre todo durante la galvanización en caliente, donde los picos y los valles en la parte de zinc fundido puede utilizarse para construir o reducir. Este método de ensayo está diseñado para comprobar la uniformidad del revestimiento y para identificar las zonas de la muestra donde la capa es muy delgada.

3. Solución de Sulfato de Cobre

3.1 La solución de sulfato de cobre se realizará mediante la disolución de aproximadamente 36 partes en peso de cristales de sulfato de cobre comercial en 100 partes en peso de agua destilada (Nota 1). El calor puede ser utilizado para completar la solución de los cristales de sulfato de cobre. Si se calienta, la solución se deja enfriar. La solución entonces se agita con un exceso de hidróxido de cobre en polvo ($\text{Cu}(\text{OH})_2$), cerca de 0.649 oz. (18.4g) por cada 5 galones (18.9 L) de solución (Nota 2). La presencia de un exceso de hidróxido de cobre se presenta en el sedimento de este reactivo en la parte inferior de la vasija. La solución neutralizada se deja reposar durante 24 h y luego se filtra o se decanta.

NOTA 1 — Químicamente puros (cp), los cristales de sulfato de cobre son preferibles a los de calidad comercial, aunque no es necesario, para la Prueba de Preece.

¹ Este método está bajo la jurisdicción del Comité ASTM A-5 en productos de acero y hierro metálicos-resistencia y es responsabilidad directa del Subcomité A05.07 sobre Métodos de Prueba. Edición actual aprobada el 25 de Febrero 1989. Publicada en Junio 1989. Originalmente publicada como A239-80 T. Última edición A239-73 (1983).



NOTA 2 – Óxido cúprico (CuO), cerca de 0.529 oz. (15 g) por cada 5 galones de solución, puede ser sustituido por hidróxido de cobre, siempre y cuando la solución se deje en reposo no menos de 48 h después de esta adición y antes de la decantación o filtrado.

3.2 La solución de ensayo deberá tener un peso específico de 1.186 a 18°C (65°F). Para ajustar la gravedad específica de una solución, añadir agua destilada si la densidad es alta, y añadir una solución de sulfato de cobre de un peso específico más alto cuando la gravedad específica es baja en la solución de prueba.

4. Enjuague con agua

4.1 El agua común del grifo puede ser utilizada para el enjuague. Si no hay agua común disponible, el agua de enjuague se cambiará con la suficiente frecuencia, preferiblemente después de cada inmersión, para asegurarse de que es razonablemente libre de sulfato de cobre. La temperatura del agua de enjuague deberá ser de 15 a 21°C (60 a 70°F).

5. Cuantificar la Solución del Ensayo

5.1 Hardware y artículos similares – Para las pruebas de hardware y artículos similares, la cuantificación de la solución de sulfato de cobre para cada prueba dependerá de la zona superficial de la probeta y el peso de la capa. La cuantificación no debe ser inferior a 1.2 cuartos de galón (1.135 ml) por onza de recubrimiento de zinc en la muestra (Nota 3) y deberá ser suficiente para cubrir la muestra de manera que la superficie superior de la solución sea por lo menos de 1/8 plg (12.7 mm) sobre la parte superior de la sección de la muestra bajo prueba. La solución deberá ser desechada después de finalizar la prueba y la solución reciente para las pruebas adicionales.

NOTA 3 – La cantidad mínima de solución de sulfato de cobre necesario para devolver 1 oz (28 g) de zinc es de 0.4 cuartos de galón (375 ml). La cantidad especificada (1.2 cuartos de galón/1.135 ml) por onza de recubrimiento de zinc) es tres veces esa cantidad mínima para garantizar la tasa adecuada de solución.

6. Preparación de Muestras de Ensayo

6.1 Las muestras seleccionadas para el ensayo deben estar libres de la abrasión o cortes en el recubrimiento de zinc, excepto las que puedan producirse durante la fabricación o la preparación de la muestra para la prueba. El área de la superficie sin recubrir puede agotar la fuerza de la solución de sulfato de cobre, por lo tanto pueden tomarse en cuenta precauciones, como los tapones de material tubular, o laca, parafina u otros recubrimientos adecuados para las superficies sin recubrimiento.

6.2 Limpie las piezas con un disolvente orgánico volátil como una mezcla de 70% cloroetano 30% xilol y finalmente, lave con agua limpia y seque con un trapo de algodón limpio. A menos que se especifique lo contrario, quite los recubrimientos de laca o barniz con una adecuada limpieza, por ejemplo con solventes orgánicos volátiles, tales como cloroformo o acetona, que no atacan el recubrimiento de zinc

o dejan algún depósito de grasa o de cera. Enjuague bien las muestras con agua limpia y seque con un paño limpio de algodón. Lleve las muestras de prueba a una temperatura de 15 a 21°C (de 60 a 70°F) antes del inicio del ensayo.

6.3 Causas anormales puede producirse cuando, por razones inusuales en la superficie, la solución de cobre no actúa sobre el recubrimiento de zinc. Por ejemplo, la solución podría no presentar ataque sobre la totalidad o parte de la superficie, o presentar depósitos falsos de cobre en la cubierta de zinc. Si hay alguna duda de alteración en el rendimiento de las muestras, deséchelas y seleccione algunas nuevas. Limpie las nuevas muestras en alcohol, enjuague y seque, luego sumerja durante 3 minutos en una solución de 1 parte por volumen de hidróxido de amonio (gravedad específica 0.90) y 9 partes de agua. Las muestras pueden ser limpiadas con un paño de algodón durante esta inmersión. Después de limpiar, lave las muestras y seque, luego ponélas a prueba, de conformidad con el procedimiento descrito en la Sección 7.

7. Procedimiento

7.1 Sumergir las muestras en la solución de sulfato de cobre, que se mantendrá a una temperatura de 16 a 20°C (61 a 68°F). Permita que las muestras permanezcan en una posición fija en la solución exactamente 1 minuto. Si se especifica un baño de medio minuto, este se le concederá a las muestras después de la finalización de los baños de un minuto. No agite la solución durante el periodo de inmersión, ni permita que las muestras se toquen entre sí o a los lados del recipiente. Después de cada baño, lave las muestras inmediatamente en el agua de enjuague, y utilice un cepillo de cerdas de fibra para eliminar cualquier depósito de cobre que se haya formado en la capa de zinc. Antes de devolver las muestras a la solución de ensayo, deje que escurra bien el agua de enjuague y seque el exceso con un paño limpio.

7.2 Continuar con los baños de 1 minuto cada uno, lavar y limpiar las muestras después de cada inmersión, hasta que hayan superado el número requerido de baños o hasta que el punto final se haya alcanzado (véase Apéndice X2).

NOTA 4 – Los recubrimientos de Zinc en las roscas suelen ser difíciles de trabajar. Se ha encontrado ventajoso al observar las partes longitudinales de la roca hembra, exponiéndolas a la vista y facilitando la limpieza para remover el cobre esponja después de cada inmersión en el ensayo. El cepillado debe ser paralelo a las roscas.

8. Punto Final

8.1 El punto final será reconocido por la aparición de brillo, depósitos adheridos de cobre. Sin embargo, si tal depósito no se forma después de la desaparición completa de la capa de zinc, el baño que suceda a la desaparición del zinc se reconocerá como el punto final. El área total sin éxito, deberá ser indicado por una inspección visual, o si es necesario, por las pruebas complementarias previstas en la



Sección 9 y 10, si revelar la exposición del metal base esté no deberá ser menor a 0.012 pig^2 (0.077 cm^2) (equivalente a un área circular de $1/8 \text{ pig}$, (3.18 mm) de diámetro).

8.2 Confirmar la adhesión del depósito de cobre brillante por una prueba de remoción. Si es posible quitar el cobre con una goma de borrar fina o de remover el cobre con el filo de un instrumento como el cuchillo, y si el zinc aparece debajo del cobre, apareciendo como un depósito de cobre este no se interpretará como un punto final.

8.3 Una apariencia de líneas finas de cobre en la parte superior de las roscas del tornillo o en los bordes afilados de los artículos, o dentro de 1 pig (25 mm) de una porción cortada de una muestra, no será juzgado como un punto final. Del mismo modo, el fracaso de una capa en o adyacente al corte o la abrasión en la muestra original no será considerado como un fracaso.

8.4 **Al contar el número de inmersiones para una capa resistente, el último baño al cual define el punto final no se incluirá.**

9. Pruebas Adicionales

9.1 Si en algún momento durante el ensayo no hay ninguna duda en cuanto a la presencia del metal base expuesto, según lo determinado por la inspección visual, hay varias pruebas complementarias que se describen en la Sección 10, una o varias de las cuales pueden ser utilizadas en función del tipo del recubrimiento bajo prueba.

10. Prueba Complementaria para Todos los Tipos de Recubrimiento de Zinc

10.1 **Prueba Microscópica** – Sección en la que la muestra a través del depósito de cobre, montaje y pulido es evaluada

con un análisis petrográfico. Grabe la superficie pulida con la solución compuesta por 20 g de ácido crómico, 1.5 g de sulfato de sodio y 100 ml de agua destilada (Reactivo Palmerton). Después del ataque, lave la pieza con alcohol. Examine la muestra de grabado bajo el microscopio, con un aumento de 100 diámetros, o más si es necesario.

10.2 **Prueba Cualitativa para Zinc** – Aplique una gota (o varias gotas) de ácido clorhídrico diluido a la zona en cuestión (dependiendo de su tamaño). La presencia de zinc está indicado por la fuerte e inmediata efervescencia (liberación de hidrógeno). Si no se encuentra apreciablemente el Zinc, la efervescencia será de carácter leve. Sea cuidadoso al remover el ácido, una prueba que confirma la presencia de zinc se puede hacer de la siguiente manera: neutralice el ácido con hidróxido de amonio, acidifique con ácido acético, y pase sulfuro de hidrógeno en la solución, un precipitado blanco (sulfuro de zinc, ZnS) confirmará la presencia de zinc.

11. Precisión y Sesgo

11.1 Las investigaciones anteriores (que datan de alrededor de 1963) han indicado que los resultados obtenidos mediante el método de ensayo pueda estar influenciado por la técnica del operador. Las variaciones en los resultados de la prueba pueden ser debido a: (1) la diferencia de presión de la mano al limpiar la muestra, o (2) la incapacidad del operador para reconocer el punto final. Por lo tanto, la declaración de precisión no sería apropiada para este método de ensayo.

APÉNDICES

X1. APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE PREECE PARA PRODUCTOS DE GALVANIZADO DEGRADADOS

X1.1 **La Prueba de Preece no es aplicable a los materiales antiguos o degradados debido a la película de corrosión presente en el recubrimiento de zinc.** Si se desea utilizar la Prueba de Preece a dichos materiales, la película de la corrosión se debe retirar antes de realizar la prueba, mediante

la inmersión de las muestras durante 3 minutos en una solución de hidróxido de amonio (1 parte por volumen de hidróxido de amonio (gravedad específica 0.90) a 9 partes de volumen de agua destilada), luego enjuague las muestras en agua potable, limpie y seque.



X2. NORMA PARA LA COMPARACIÓN

X2.1 Si se desea mostrar el carácter brillante del depósito de cobre metálico en una plancha o superficie expuesta de acero, una norma de referencia para la comparación puede prepararse de la siguiente manera: Sumergir parcialmente una muestra revestida de zinc en ácido clorhídrico hasta que cese la reacción violenta. Quitar de inmediato la muestra, lavar, limpiar y secar. La muestra con un área sin revestimiento,

incluyendo la porción con recubrimiento de zinc intacta, se sumerge durante unos segundos en la solución de sulfato de cobre a una temperatura de 16 a 20°C (61 a 68°F), luego se quita, se lava y se seca. El estándar de referencia de cobre recubierto debe estar preparado en el momento en que las pruebas se realizan.

X3. ACCIÓN DE LA SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE EN LOS RECUBRIMIENTOS DE ZINC

X3.1 El hecho de que la Prueba de Preece no se pueda utilizar para determinar el peso del recubrimiento de zinc se debe a la amplia variación en la tasa de solubilidad de los diferentes tipos de recubrimientos debido a las diferencias en la composición y estructura de los recubrimientos. Por ejemplo, en los recubrimientos por galvanizado y por el rociado de zinc esencialmente consisten en zinc puro, la parte exterior de los recubrimientos por inmersión en caliente consisten en zinc casi puro, mientras que la parte próxima a la base de acero se compone de las aleaciones de zinc-hierro, en el caso de recubrimientos por inmersión en caliente al calentarse después de galvanizar da en su totalidad aleaciones de zinc-hierro.

X3.2 En vista de estas diferencias en la composición de los recubrimientos de zinc aplicados por los diferentes procesos, se ha encontrado por Groesbeck and Walkup¹ en pruebas un número límite de muestras para el galvanizado y el rociado en las capas, debido a su alto contenido de zinc puro, este se disuelve con bastante rapidez en la solución de sulfato de cobre, que los recubrimientos convencionales por inmersión en caliente que lo hacen en dos terceras partes de la rapidez como los recubrimientos de zinc puros, y que el revestimiento por inmersión en caliente después de la galvanización caliente se disuelve solo la mitad de rápido que el zinc puro.

¹ Para más información sobre este método de ensayo, se puede hacer referencia a los siguientes documentos:

Walkup, H.H., y Groesbeck, E.C., "Algunos Factores Afecta la Prueba de Preece para Recubrimientos de Zinc," Procedimientos, ASTM, Vol. 32, Parte II, 1932, p. 452.

Groesbeck, E.C., y Walkup, H.H., "Prueba de Preece (Inmersión en Sulfato de Cobre) para Recubrimientos de Zinc," Instituto Nacional de Normas y Tecnología Diario de Investigaciones JRNDA, Vol. 12, No. 8, Junio 1934, p. 785 (Trabajo de Investigación T668).

ASTM Internacional, no toma posición respecto de la validez de ninguno de los derechos de patente asociados en conexión con cualquiera de los títulos mencionados en este estándar. Los usuarios del estándar están expresamente alertados que la validez de cualquiera de estos derechos de patente, y el riesgo de infringirlos, son enteramente su propia responsabilidad.

Este estándar está sujeto a revisión en cualquier momento por el comité técnico responsable y deberá ser revisado cada cinco años de lo contrario, será aprobado de nuevo o retirado. Sus comentarios son bienvenidos para revisión de este estándar o de otros y deben ser dirigidos a las oficinas centrales de ASTM Internacional. Sus comentarios serán cuidadosamente considerados por el comité técnico responsable, respectivo. Si usted piensa que sus comentarios no han recibido la atención que desearía, usted debería dar a conocer sus puntos de vista al Comité de estándares de ASTM, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

Fuente: ASTM.

Anexo V. **Propiedades físicas y química de los componentes**

ISOCIANATO

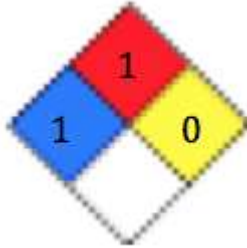
NFPA



Símbolos de seguridad



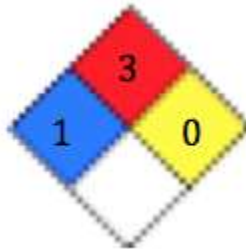
NFPA



Símbolo de seguridad



NFPA



Símbolo de seguridad



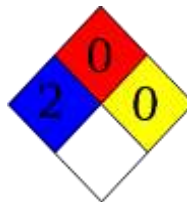
NFPA



Símbolo de seguridad



NFPA



Símbolo de seguridad



